



Hinc patriam sustinet

Instituto Superior de Agronomia
Universidade Técnica de Lisboa



Rega Capilar Subsuperficial – KISSS® - num viveiro de relva para Golfe

Avaliação do padrão de distribuição de água no solo

Ana Teresa Rendeiro Brochado

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Agronómica

Orientador: Doutor Pedro Manuel Leão Rodrigues de Sousa

Júri:

Presidente: Doutor Pedro Jorge Cravo Aguiar Pinto, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Vogais: Doutor Pedro Manuel Leão Rodrigues de Sousa, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Doutor Nuno Renato da Silva Cortez, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Lisboa, 2010

Fotografia da capa: <http://irrigationoutlet.net>

"Then his body grew huge and light. It arose into the sky, and out of it came the streaming rain. "I should have known", he whispered. "I am the rain". (...) He felt the driving rain, and heard it whipping down, pattering on the ground. He saw his hills grow dark with moisture. Then a lancing pain shot through the heart of the world. "I am the land", he said, "and I am the rain". The grass will grow out of me in a little".

em To a God Unknown

John Steinbeck

Agradecimentos

O presente trabalho foi uma aventura do início ao fim, sozinha sentir-me-ia sem rede. A todos aqueles que se entrelaçaram para constituir a minha rede de segurança, o meu muito obrigada:

Ao Trevor Tyne, da Irrigation and Water Technologies pela cedência de uma amostra do sistema estudado neste trabalho, e por todo o apoio prestado.

Ao Dirk Höeven, da Quinta do Peru, por me ter recebido contra todas as probabilidades.

Ao Paulo Tembo, por toda a ajuda e paciência na reparação e montagem de todo o material necessário ao ensaio.

Ao Professor Pedro Leão, por se ter arriscado nesta viagem comigo, pela sua sabedoria e acima de tudo, pela paciência.

Ao António Ramos da Aquagri, pelo apoio prestado.

A entrega deste trabalho fecha um dos ciclos mais importantes da minha vida:

A todos aqueles com quem vivi a experiência de vida que foi estudar no ISA, com quem aprendi a verdadeira camaradagem e amizade. À “casinha”, que mais que um espaço físico, é um espaço emocional, de lazer, de trabalho, de troca de ideias, de crescimento pessoal.

E acima de tudo, à família, pelo amor incondicional, pelo apoio e força nos momentos difíceis, e alegria nos momentos felizes. Pelos valores pelos quais sempre se guiaram e que me inculcaram. Com certeza que este acontecimento tem um significado também para eles muito especial.

Título da dissertação: Rega Capilar Subsuperficial – KISSS® - num viveiro de relva para Golfe.

Avaliação do padrão de distribuição de água no solo.

Resumo

Sendo o Golfe uma actividade económica importante para Portugal, e a água um recurso escasso, principalmente em épocas de maior necessidade, é cada vez mais importante o uso de sistemas que usem a água de forma racionalizada.

O objectivo deste trabalho é perceber de que forma a água se movimenta no solo, no contexto em estudo, comparativamente ao sistema tradicional de rega por aspersão. Foram também avaliadas as diferenças relativamente ao consumo com os dois sistemas diferentes.

O ensaio teve lugar no campo de Golfe da Quinta do Peru, num pequeno viveiro de relva (*Agrostis stolonifera*) para eventuais substituições nos *greens*.

Foram instaladas três linhas pareadas do sistema em estudo, situadas aos 10, 20 e 30 cm. No último quartil dessas linhas, ao centro, foram instaladas sondas Enviroscan® para medição do teor de humidade do solo aos 10, 20, 30 e 50 cm de profundidade, bem como no talhão de controlo, regado por aspersão.

Os tratamentos com a instalação das linhas aos 10 e 20 cm de profundidade acusaram falta de água na zona de intersecção das linhas, deixando uma faixa de relva amarela no meio.

O tratamento instalado aos 30 cm de profundidade não devolveu bons resultados, ficando o relvado em clara situação de défice hídrico.

A solução ideal será a instalação aos 20 cm de profundidade, com os adequados ajustes a investigar no futuro, para prevenir os problemas sentidos durante este ensaio.

No período do ensaio (de 7 de Maio a 26 de Julho de 2010) o sistema em estudo consumiu $0,015 \text{ m}^3$ de água m^{-2} contra $0,84 \text{ m}^3 \text{m}^{-2}$ consumidos pela aspersão.

Palavras-chave: golfe, rega capilar subsuperficial, teor de água no solo, poupança de água, KISSS®

Title: Subsurface Capillary Irrigation - KISS® - in a Golf turf nursery.

Evaluating the pattern of water distribution in the soil.

Abstract

Golf being a major tourism related economical activity in Portugal, and water scarce resource, especially in times of bigger demand, it is increasingly important to use systems that use water rationally.

The objective of this work is to understand how water moves in the soil, in the context of this study, in comparison to the traditional sprinkler system. Differences regarding the consumption with both systems were also evaluated.

The trial took place in Quinta do Peru's Golf Course, Portugal, on a small turf (*Agrostis stolonifera*) nursery, grown for eventual repairs on the greens.

Three pairs of lines of the system were installed, each pair at a different depth: 10, 20 and 30 cm. At the last quarter of length of those lines, Enviroscan® probes were installed, in order to measure the soil's water content at the depths of 10, 20, 30 and 50 cm, as well as on the sprinkler irrigated control plot.

The treatments which had the lines installed at 10 and 20 cm deep accused a lack of water on the intersection area of the lines, leaving a yellowish strip of grass in the middle.

The treatment installed at 30 cm deep did not give out good results, having left the lawn with major water stress signs.

The ideal solution would be to install the system at 20 cm deep, with the adequate adjustments yet to investigate in future trials, to prevent the problems felt during this trial.

During the trial period, that went from May 7th to July 26th 2010, the system studied in this trial used $0,015 \text{ m}^3\text{m}^{-2}$ of water, against $0,84 \text{ m}^3\text{m}^{-2}$ used up by the sprinkler system.

Keywords: golf, capillary subsurface irrigation, soil water content, water savings, KISS®

Title: Subsurface Capillary Irrigation - KISSS® - in a Golf turf nursery.

Evaluating the pattern of water distribution in the soil.

Extended Abstract

As Golf is becoming a major tourism related economical activity in Portugal, and water a scarce resource, especially in times of bigger demand, the use of systems that use water rationally is becoming increasingly important.

The regular form of applying water to golf courses is by using sprinkler systems, but these, even if well regulated, spend great amounts of water, and require powerful pumping systems, demanding more energy. Having this in focus, there is a great need to use systems that rationalize the use of water, leading to big water savings.

The KISSS® system was developed by Irrigation and Water Technologies Australia in cooperation with CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization), and is a subsurface capillary irrigation system which uses a self pressure compensating drip system in combination with a geotextile with capillary action that transforms points of application of water in continuous strips, and uses the capillary properties of soils to apply water directly to the root zone, and leaving the surface dry, preventing weeds and moist related fungal diseases.

This trial took place in Quinta do Peru's Golf Course, located in Portugal during the period ranging from May 7th to July 26th 2010. This golf course has a small nursery that grows *Agrostis stolonifera* (Penncross) for eventual repairs needed on the greens.

The objective of this work was to try to understand how water moves in the soil using this system, in comparison with the regular sprinkler system, and try to determine which depth of installation was the most indicated.

In order to reach this objective, three pairs of lines of the system were installed, spaced 60cm apart, on a total area of 20,7 m². Each pair of lines was installed at different depths: at 10, 20 and 30 cm.

To measure the soil water content, EnviroSCAN® probes were installed three for each event, in the middle of the last quarter of each pair of lines. Probes were also installed on the sprinkler irrigated control plot. Each probe measured the soil water content at 10, 20, 30 and 50 cm deep.

The water consumptions were also analyzed.

The soil used for sowing was a mixture of sands and organic substrate layer 20 cm thick, over the native soil, composed of fine dark sands, all the plots were watered by the rain and sprinkler system until the lawn was established.

The results showed that there was water reaching the sensors at 50 cm deep, which was not a positive result, as water was being lost to depths of soil where it was not being used by the culture.

The pair of lines installed 30 cm deep did not deliver a sufficient amount of water to the root zone and the turf dried almost completely.

Between the pairs of lines installed at 10 and 20 cm deep, the one installed at 20 cm deep might be the best, as it allows more space for eventual mechanical interventions on the surface of the lawn.

The pair of lines installed at 10 and 20 cm deep, had problems delivering the correct amount of water to its middle, leaving a yellow strip on that place. This suggests that the system was not managed the correct way, and further testing is needed. One of the following problems might have occurred: the spacing was too far apart for the soil in question, or the duration and frequency of the watering episodes was not the most correct.

Regarding the amounts of water spent throughout the trial, the sprinkler system used as much water as $0,84 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ vs $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ used by the subsurface capillary system.

These results encourage further investigation with this system in Portugal.

Keywords: golf, capillary subsurface irrigation, soil water content, water savings, KISSS®

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Extended Abstract	iv
Índice	vi
Índice de Tabelas	viii
Índice de Gráficos.....	viii
Índice de Figuras	ix
1 Introdução.....	1
2 Revisão dos conhecimentos actuais	2
2.1 A água em Portugal.....	2
2.2 Golfe, Breve Descrição.....	3
2.3 A rega em campos de Golfe.....	5
2.3.1 Aspersão Estacionária.....	5
2.3.2 Sistemas alternativos à aspersão.....	6
2.4 O fenómeno da capilaridade no solo.....	12
2.5 A utilização do EnviroSCAN® para a medição do teor de humidade do solo	14
3 Metodologia experimental	17
3.1 Descrição do local	17
3.1.1 Solo.....	17
3.1.2 Relvado.....	18
3.1.3 Características climáticas.....	20
3.1.4 Sistema existente	22
3.2 Descrição da instalação	24
3.3 Análises realizadas.....	27
3.3.1 Medição da humidade do solo.....	27
4 Resultados e Discussão	33
4.1 Análise Preliminar.....	33
4.2 Valores Médios.....	36
4.2.1 Teor de água ao longo do perfil de solo de cada tratamento.....	37
4.2.2 Comparação do teor de água no solo à mesma profundidade entre diferentes tratamentos do ensaio	39
4.3 Aspecto visual do relvado.....	42
4.4 Gastos de Água	43
5 Conclusões	44

6	Referências Bibliográficas e Cibergráficas.....	45
7	ANEXOS.....	47

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Valores da granulometria da mistura de solo utilizada como substrato para a relva	18
Tabela 2 – Granulometria do substrato dos 0-20 cm de profundidade, e teor de carbono orgânico ...	18
Tabela 3 – Granulometria do solo dos 20-50 cm de profundidade, e carbono orgânico.....	18
Tabela 4 – Valores de Kc para a fase média de desenvolvimento de diversos tipos de relvados, segundo várias fontes	22
Tabela 5 – Alcances e Caudais segundo um gradiente de pressão, do Aspensor Toro® 2001, com a ponteira amarela.....	24
Tabela 6 – Distribuição das sondas de acordo com os dois <i>loggers</i> usados no ensaio	29

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Sensores aos 10 cm de profundidade do talhão da aspersão no período de 7 a 13 de Maio de 2010.....	34
Gráfico 2 – Sensores aos 10 cm de profundidade da linha instalada aos 10 cm no período de 7 a 13 de Maio de 2010.....	34
Gráfico 3 – Sensores aos 10 cm de profundidade da linha instalada aos 20 cm no período de 7 a 13 de Maio de 2010.....	34
Gráfico 4 – Sensores aos 10 cm de profundidade da linha instalada aos 30 cm no período de 7 a 13 de Maio de 2010.....	35
Gráfico 5 – Valores médios dos sensores aos 10, 20, 30 e 50 cm de profundidade para a Linha instalada aos 10 cm de profundidade (Semana de 20 a 26 de Julho).....	37
Gráfico 6 – Valores médios dos sensores aos 10, 20, 30 e 50 cm de profundidade para a Linha instalada aos 20 cm de profundidade (Semana de 20 a 26 de Julho).....	38
Gráfico 7 – Valores médios dos sensores aos 10, 20, 30 e 50 cm de profundidade para a Linha instalada aos 30 cm de profundidade (Semana de 20 a 26 de Julho).....	38
Gráfico 8 – Valores médios dos sensores aos 10, 20, 30 e 50 cm de profundidade para a aspersão (Semana de 20 a 26 de Julho)	39
Gráfico 9 – Valores médios dos sensores a 10 cm de profundidade de todos os tratamentos do ensaio, na semana de 20 a 26 de Julho	40
Gráfico 10 – Valores médios dos sensores a 20 cm de profundidade de todos os tratamentos do ensaio, na semana de 20 a 26 de Julho	40
Gráfico 11 – Valores médios dos sensores a 30 cm de profundidade de todos os tratamentos do ensaio, na semana de 20 a 26 de Julho	41
Gráfico 12 – Valores médios dos sensores a 50 cm de profundidade de todos os tratamentos do ensaio, na semana de 20 a 26 de Julho	41

Índice de Figuras

Figura 1 – Buraco de golfe com os diversos constituintes (Tee, Fairway, <i>Green</i> , Rough).....	4
Figura 2 – Vista lateral de um corte de relva evidenciando a relva, o thatch e o solo.....	5
Figura 3 – Relvado regado à esquerda com um sistema de aspersão e à direita com o sistema KISSS®, usando a mesma dotação em ambos os casos.....	7
Figura 4 – Sistema de rega capilar subsuperficial	9
Figura 5 – Padrão de distribuição da água no solo com o sistema KISSS®	9
Figura 6 – Aspersão vs KISSS®	10
Figura 7 – Sistema gota-a-gota subterrâneo, à esquerda, vs sistema KISSS®, à direita	10
Figura 8 – Instalação do sistema KISSS® com tractor e equipamento específico.....	11
Figura 9 – Título de Imprensa acerca do mau estado do relvado de um campo de futebol.....	12
Figura 10 – Sonda EnviroSCAN® com três sensores SENTEK distanciados 10 cm	15
Figura 11 – Esquema dos componentes do sistema EnviroSCAN®	15
Figura 12 – Mapa de localização ensaio	17
Figura 13 – <i>Agrostis stolonifera</i> ; Legenda: a- flor b-lígula	19
Figura 14 – Esquema do talhão de controlo, com os aspersores, a vermelho.	23
Figura 15 – Manómetro usado para medir a pressão directamente no bico do aspersor	23
Figura 16 – Vista geral do ensaio (a vermelho – a área do sistema em estudo, a azul – a metade do viveiro existente usada como talhão de controlo.)	24
Figura 17 – Caixa de rega do sistema em estudo	25
Figura 18 – Mistura de areia e turfa, antes da sementeira	26
Figura 19 – Vista esquemática da instalação das linhas do sistema a profundidades diferentes	27
Figura 20 – Vista da Instalação das Sondas no terreno em: a)corte transversal; b)corte longitudinal; c)planta	28
Figura 21 – Localização das diferentes sondas no terreno	30
Figura 22 – Balde utilizado na normalização dos sensores.....	31
Figura 23 – Ecrã de configuração do <i>Logger</i> (normalização dos sensores)	31
Figura 24 – Caixas estanques usadas para fazer as ligações eléctricas	32
Figura 25 – Vista Geral dos tratamentos do ensaio no dia 23 de Julho de 2010.	42

1 Introdução

A água constitui um bem cuja qualidade e disponibilidade impõem que os gastos tenham de ser controlados.

As alterações climáticas continuam a ser um fenómeno altamente discutido na comunidade internacional. É do conhecimento geral que a população está cada vez mais sensibilizada para as questões ambientais.

Há ainda alguma discórdia relativamente a este assunto, no entanto, tem sido feita muita pesquisa na área e crê-se que as alterações climáticas serão, a curto prazo, responsáveis pela alteração do padrão da precipitação global. (Trenberth 1999). A subida da temperatura média global do ar irá significar uma maior capacidade de retenção de vapor de água nas massas de ar.

Esperam-se então períodos de seca mais prolongados bem como quedas de precipitação mais intensas nas áreas mais húmidas (Trenberth 1999). Nessas condições, haverá um prolongamento temporal dos períodos de seca bem como dos períodos húmidos.

Perante tais cenários, vem constituindo preocupação crescente, de quem tem por tarefa gerir sistemas de distribuição de água de rega, a necessidade de maximizar a eficiência de utilização desse bem.

Foi pois com a finalidade de poder contribuir para uma efectiva resposta a essa preocupação que se decidiu realizar o presente trabalho experimental, que tem como objectivo a análise de um novo sistema de rega subterrâneo (KISS®), que utiliza os princípios da capilaridade para distribuir água ao nível da zona radicular.

Ao aplicar água directamente na zona radicular, minimizam-se as perdas de água por evaporação, embora se continue a ter que considerar eventuais perdas por percolação. Para verificar as condições de funcionamento deste sistema serão analisados:

O padrão de distribuição de água no solo com o actual sistema de rega por aspersão convencional e respectivos gastos;

O padrão de distribuição da água no solo com o sistema KISS® e respectivos gastos.

2 Revisão dos conhecimentos actuais

2.1 A água em Portugal

A água é um recurso indispensável à vida e à grande maioria das actividades económicas, como a agricultura e a indústria, com uma influência decisiva na qualidade de vida das populações.

No entanto, segundo o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (Baptista *et al.* 2001), verifica-se que há ainda muito a fazer: na agricultura as ineficiências ascendem aos $240 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ (correspondendo a 88% do total das perdas), no abastecimento urbano (no qual se incluem os campos desportivos) essas perdas são de $22 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ (8% do total das perdas) e a indústria é responsável por perdas de $11 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ (4% do total).

Sendo a água um bem estratégico para o desenvolvimento socioeconómico de um país, o seu uso eficiente deve ser um objectivo nacional prioritário, e o uso de sistemas mais eficientes deve ser encorajado, uma vez que os recursos hídricos não são ilimitados.

Ao reduzir os caudais captados, preparamo-nos para situações de escassez, já que as reservas terão maior capacidade de cobertura das necessidades nesses períodos. Isto também garante que as infra-estruturas existentes são melhor aproveitadas. Os sistemas ultrapassados pelo aumento da demanda, poderão ver o seu tempo de vida útil estendido (Baptista *et al.* 2001).

O país, em termos de legislação comunitária (Directiva Quadro da Água), tem a obrigação de garantir a conservação da água e a crescente aplicação dos custos reais da mesma.

É importante chamar a atenção da sociedade para esta questão. A utilização racional da água não significa que se ponha em causa os objectivos económicos pretendidos. Apenas significa que iremos obter o mesmo mas com um consumo de água menor, e consequentemente, um menor consumo energético.

Esta é uma questão que se deve ter em conta cada vez mais, uma vez que, face às alterações climáticas, são esperadas diferenças no padrão de distribuição da precipitação, de acordo com von Storch *et al.* (1993). O aumento da temperatura do ar significa que as massas de ar poderão conter uma maior quantidade de vapor de água. Devido a isto, nas regiões mais húmidas irá chover mais, enquanto as regiões mais secas irão sofrer maiores períodos de ausência de queda de precipitação (Neelin 2009).

Transpondo esta informação para o nosso país, podemos deduzir que no período de maior secura, nos meses de Verão, de acordo com a classificação climática de Köppen, iremos ter menor disponibilidade de água nesse período. A poupança e o uso racional deste bem, do qual todos dependemos, é urgente.

Se isto deve ser feito para a actividade agrícola, da qual depende a nossa alimentação, torna-se ainda mais premente a adopção de sistemas que não desperdicem água no âmbito dos campos desportivos, como é o caso do Golfe. De acordo com a Câmara do Comércio e Indústria Luso-Espanhola (2006), o Golfe é uma actividade estratégica para o nosso país, sendo responsável

por 1,25% do PIB nacional e 14% do PIB turístico. De acordo com o mesmo documento, em 2005 Portugal contava já com um total de 75 campos de Golfe.

Não há pois dúvida de que se trata de uma actividade económica importante para o nosso país. Longe vão os tempos em que a sustentabilidade era uma palavra desconhecida e, cada vez mais, há que preservar os recursos e evitar o desperdício, pelo que a adopção de sistemas que conservem este recurso, sem influenciar de forma negativa as actividades económicas que dele dependem, é um objectivo estratégico para o desenvolvimento sustentável do nosso país.

2.2 Golfe, Breve Descrição

Um campo de golfe consiste numa série de buracos. Cada um desses buracos é constituído por *tee*, *fairway*, *rough* e outros perigos, e um *green* com uma bandeira e copo (no buraco). Um campo de golfe *standard* consiste em 18 buracos jogáveis. A maioria dos campos tem, por isso, 18 buracos. No entanto, alguns têm apenas 9 buracos, fazendo-se o percurso duas vezes, enquanto outros têm 27 ou 36 dos quais se escolhem dois grupos de 9 buracos de cada vez, de modo a poder ir variando o percurso, e/ou mesmo facilitar a manutenção. O jogo consiste em fazer percorrer a bola desde o *tee* até ao buraco, no *green*, dando, para isso, tacadas na bola. (Figura 1)

O jogador dá a primeira pancada, geralmente chamada de *tee-off* no *tee*, segue para o *fairway* e acaba a partida no *green*, onde se encontra o buraco. O *rough* envolve as áreas de jogo, e tem uma relva com um corte mais alto, com a finalidade de travar o movimento da bola. Em alguns campos, a relva dos *roughs* chega a nem ser cortada, sendo uma área quase intocada, à excepção da normal manutenção, como a limpeza de detritos vegetais.

Estas áreas são geralmente constituídas por tipos de relva diferentes, com cortes a alturas distintas. Devido às diferenças no tipo de relva quer no maneo (que depende do que se pretende da relva), estas terão necessidades hídricas distintas. Cabe ao gestor de um campo de Golfe, garantir que a relva esteja sempre em condições que não afectem a jogabilidade e isso passa, não só pelo corte, pelos tratamentos efectuados, como também, grandemente, pela quantidade de água que se aplica.

De acordo com Pira (1997) é nos *greens* que se dão cerca de 3/4 das pancadas numa partida de Golfe. Os jogadores exigem sempre relva e superfícies de jogo impecáveis nos *greens* e é o seu estado que geralmente determina o sucesso ou não do técnico responsável pela manutenção dos relvados. Por ser uma área que sofre muito com o pisoteio dos jogadores, com queda de bolas batidas a partir de grandes distâncias, o *green* é das áreas mais afectadas num campo de Golfe. (Rivalizando apenas com os *tees* que vêem frequentemente fatias de relva serem arrancadas por tacadas de jogadores menos experientes).

No entanto, os *greens* ocupam uma pequena área relativamente à área total de um campo de Golfe, já os *fairways*, embora não sofrendo as mesmas agressões que os *greens*, são responsáveis pelo maior consumo de água num campo de Golfe. De acordo com DaCosta (2006), "a capacidade de manter relva de qualidade com rega mínima pode resultar em relevantes poupanças de água e

monetárias, particularmente se são áreas como os *fairways*, que ocupam grandes áreas dos campos de Golfe." (página 82)



Figura 1 – Buraco de golfe com os diversos constituintes (Tee, Fairway, Green, Rough)¹

No Golfe, as operações desempenhadas com mais frequência são a rega, o corte da relva (praticamente diário nos *greens*, na estação de maior crescimento), a limpeza de detritos vegetais (principalmente no Inverno, com a queda de folhas das árvores no campo). Na mudança de estação fazem-se também furações (com uma máquina - arejador - que corta pequenos charutos de solo e relva com cerca de 1 cm de diâmetro e 10 cm de altura) com o intuito de melhorar o arejamento das raízes, encorajando o seu crescimento em profundidade, bem como a drenagem do solo e redução da compactação. Esta operação é normalmente seguida do *topdressing*, que consiste em espalhar areia para encher os orifícios que ficam desta operação. Fazem-se também *verticuts*, que consistem em cortes verticais da relva e superfície do solo para melhorar a infiltração de água no solo, que muitas vezes é dificultada pela **compactação e acumulação** de matéria orgânica (*thatch*), que quando se encontra demasiado seca se torna **hidrófoba**.

Faz-se também a aplicação de químicos, os agentes molhantes, para permitir a infiltração da água no solo.

Os estolhos e matéria orgânica morta entre o solo e a relva ocorrem normalmente e têm o nome de *thatch* (Figura 2). Quando se faz a aplicação excessiva de fertilizantes azotados e regas frequentes, o *thatch* pode atingir uma altura considerável.

De acordo com Beard (2002) um pouco de *thatch* é benéfico: absorve o impacto, a relva fica mais resistente ao desgaste e o solo fica menos susceptível à compactação. No entanto, quando essa camada é superior a 7,6mm, o *thatch* torna-se impermeável, impedindo que a água aplicada à superfície se infiltre no solo, sendo preciso proceder às operações descritas anteriormente.

Ficam então criadas as condições para que surjam doenças criptogâmicas, e outros problemas sérios para os relvados. A melhor forma de gerir este problema seria a prevenção: sempre que se faz uma das operações descritas anteriormente, a superfície do relvado é fortemente afectada, provocando alterações no rolar da bola, levando algumas semanas a recuperar.

¹ Fonte: <http://georgiagolf.com/content/georgia/golf/highland/courselayout/highland-03.jpg> (a imagem base sofreu edição)



Figura 2 – Vista lateral de um corte de relva evidenciando a relva, o thatch e o solo²

Uma gestão adequada da rega poderá ajudar ao melhor controlo deste problema, já que a aplicação de água em excesso provoca um maior desenvolvimento desta camada, como já foi dito anteriormente.

2.3 A rega em campos de Golfe

Actualmente, a rega em campos de Golfe faz-se principalmente através do método da aspersão, principalmente nos campos mais antigos. Actualmente estão disponíveis sistemas alternativos, principalmente subsuperficiais, que garantem maiores uniformidades de aplicação da água, e menores dotações.

Não nos podemos esquecer do que já foi dito no ponto anterior: as furações, os *verticuts* e a aplicação de agentes molhantes podem ser reduzidos ou evitados, recorrendo a um sistema como aquele em estudo neste trabalho, que aplica a água a uma profundidade próxima da zona radicular.

2.3.1 Aspersão Estacionária

Hoje em dia, e particularmente nos campos de Golfe mais antigos, a rega faz-se, via de regra, recorrendo a sistemas de aspersão, principalmente aspersores de turbina rotativa. São sistemas que facilmente cobrem uma grande área. Como se trata de Golfe, a superfície de jogo deve estar livre de obstáculos, pelo que os aspersores são sempre instalados fora destas superfícies. Por exemplo, no caso dos *fairways*, que têm em média uma largura de 35m, podendo mesmo chegar até aos 55m (Brauer)³, os aspersores devem ter alcances que permitam cobrir estas larguras. Para o mesmo bocal de um aspersor, quanto maior o alcance, maior o caudal e a pressão necessárias (Pereira, 2004). Portanto, serão necessárias bombas mais potentes, sendo o consumo de energia superior.

De acordo com Pereira (2004) o dimensionamento de um sistema de rega por aspersão deve ser feito segundo certas regras. As necessidades de água devem ser calculadas de acordo com o tipo de

²Fonte: <http://www.omafr.gov.on.ca/english/crops/facts/thatchcn.htm>

³Fonte: www.cybergolf.com (última consulta a 25 de Fevereiro de 2010)

cultura e fase do seu desenvolvimento, bem como as variáveis climáticas e o tipo de solo do local em questão. Estes factores irão ser determinantes na quantidade de água a ser aplicada na cultura e, consequentemente, irão determinar os caudais a ser aplicados, e a frequência, que, por sua vez, levarão à escolha do material e consequentemente a determinados custos.

Durante este dimensionamento, tem-se em conta que nem toda a água irá chegar onde é necessária, segundo Pereira (2004), os alcances que constam dos catálogos dos aspersores são o resultado de testes feitos em condições sem vento. Em condições reais, os espaçamentos deverão ser encurtados até cerca de 10%. Apesar de a água ser aplicada de forma que respeite a taxa de infiltração do solo, a taxa de aplicação horária, I_a [mmh⁻¹], é normalmente avaliada pela equação:

$$I_a = 1000 \frac{q}{a}$$

q – o caudal do aspersor [m³h⁻¹];

a – área coberta por cada aspersor [m²];

o transporte pelo vento pode levar à acumulação excessiva de água em alguns locais, pelo que surge o problema da escorrência superficial.

A capacidade de automatização do sistema através de válvulas eléctricas permite uma condução mais fácil da rega em sectores controlados por diferentes válvulas. Estas poderão estar ligadas a programadores, que as accionam automaticamente à hora pretendida, pelo tempo pretendido, ou mesmo estarem ligadas a sistemas totalmente automatizados que funcionam em conjunto com sistemas que monitorizam o teor de água no solo, e/ou em conjunto com uma estação meteorológica automática. Neste caso, através de software próprio, as necessidades de água são estimadas diariamente, com base nos dados climáticos do dia anterior. A questão da automatização é algo muito importante, sendo que, na maioria dos campos de Golfe, a rega é feita à noite, para não perturbar os jogadores que jogam durante o dia.

2.3.2 Sistemas alternativos à aspersão

2.3.2.1 Rega Localizada Subsuperficial

Uma das opções à rega por aspersão, que permite uma maior economia de água, é a da rega localizada. Esta ajuda a reduzir drasticamente as perdas por evaporação e, com uma conveniente gestão, as perdas por percolação.

Tal como a rega por aspersão, a rega localizada é um sistema em que a aplicação da água é feita sob pressão, utilizando condutas, rampas e emissores separados por intervalos regulares.

A maior diferença reside no facto de a água ser aplicada na vizinhança das raízes das plantas por uma grande variedade de tipos de emissores. Para a importância deste trabalho, destacam-se os emissores gota-a-gota, pois são os deste tipo que são utilizados no sistema em estudo.

Na rega subterrânea, os emissores encontram-se enterrados, aplicando a água o mais próximo possível à zona radicular da cultura. A rega gota-a-gota utiliza espaçamentos, caudais e pressões de

funcionamento muito inferiores às da aspersão, e os períodos de rega são mais curtos e frequentes (Pereira 2004).

Pressões mais baixas significam menor consumo de energia.

Com a rega localizada, consegue-se reduzir, no caso de algumas culturas, a quantidade de água aplicada sem que a produtividade seja afectada. A água é aplicada apenas nas imediações das raízes da cultura, reduzindo o volume de solo regado e, consequentemente, o volume de água consumido. (Figura 3)



Figura 3 – Relvado regado à esquerda com um sistema de aspersão e à direita com o sistema KISS®, usando a mesma dotação em ambos os casos⁴

Segundo Singh *et al* (2006) *cit in* Patel *et al.* (2009) quando as culturas são regadas com rega gota-a-gota subterrânea, as colheitas são iguais, ou mesmo superiores, às aquelas regadas com sistemas de rega gota-a-gota de superfície.

Desta forma, é possível afirmar que a instalação de emissores subterrâneos, não só garante poupança de água ao reduzir as perdas, como também garante o bom estado das culturas.

No entanto, deve-se ter em conta se o padrão de distribuição da água no solo produzido por este tipo de sistemas respeita ou não o natural padrão de enraizamento das culturas. Caso isto não se verifique, os níveis de eficiência destes sistemas ficam aquém do esperado (Camp 2003; DeTar 2004).

Apesar das vantagens dos sistemas de rega gota-a-gota subterrâneos, os emissores colmatam facilmente, devido à intrusão de partículas de solo e/ou de raízes das plantas, pelo que é necessário recorrer a inibidores químicos de crescimento das raízes.

Em determinadas condições (tipos de solo mais sensíveis, episódios de rega mais longos), formam-se túneis no solo acima dos emissores (Charlesworth 2003), que se estendem até à superfície, provocando o abatimento do solo e empoçamento da água à superfície, o que leva a perdas por escorrência e evaporação, bem como à deterioração da estrutura do solo nesses locais.

Para contornar estas questões, uma das soluções consiste em aplicar a água utilizando o fenómeno da capilaridade do solo, cujo processo será referido mais pormenorizadamente em 2.4.

⁴ Fonte: www.kisssusa.com

Estes sistemas confiam na capacidade que o solo tem de distribuir água por acção capilar, no entanto, a aplicação é feita em pontos, o que leva à acumulação de água na imediação dos emissores durante a aplicação.

A rega capilar é vantajosa para o crescimento das plantas uma vez que o ritmo ao qual a água é aplicada respeita o ritmo ao qual esta é absorvida pelas raízes das plantas, garantindo um desenvolvimento constante, já que não se deixa que o teor de água no solo se baixe a teores próximos do ponto de emurchecimento permanente. (Kirkham 2005).

Para além disto, o facto do teor de humidade do solo se manter relativamente constante, propicia uma melhor resistência ao *stress* provocado pelas temperaturas elevadas (Taiz *et al* 2004).

A transferência de água para as raízes, que se distribuem no solo de forma heterogénea, depende da sua proximidade relativamente à água disponível. (Tardieu 1988 *cit in* Kirkham 2005).

Os sistemas subterrâneos por capilaridade que têm sido desenvolvidos ultimamente (Bi-Wall Tubing®; T-Tape® e Leaky Pipe®) tentam resolver estes problemas, não conseguindo, no entanto, ser imunes ao entupimento nem à invasão radicular.

A rega é bastante importante no controlo do *thatch* (2.2), já que o excesso de água priva de oxigénio os microorganismos do solo que fazem a decomposição desta matéria orgânica. Posto isto, um sistema que não molhe em excesso a camada superficial e que evite acumulação de água nesta zona, irá beneficiar a actividade desses microorganismos e controlar a formação desta camada (Charbonneau 1997). Com isto, reduz também a probabilidade de incidência de doenças criptogâmicas.

2.3.2.2 Rega Capilar Subsuperficial: Descrição do Sistema KISS®

O sistema KISS® – capillary irrigation subsurface system – é constituído por uma linha de emissores gota-a-gota que se encontra no interior de uma bolsa formada por uma camada da fibra capilar sintética e uma camada inferior de tela impermeável (Figura 4), esta última com a finalidade de tentar reduzir as perdas por gravidade, facilitando, deste modo, a dispersão lateral já que se ganha tempo para que a fibra capilar consiga absorver a água debitada pelos emissores. (Figura 5).

Este sistema difere dos restantes sistemas subsuperficiais por transformar um ponto de aplicação numa linha contínua.

Segundo os fabricantes, este material tem uma condutividade hidráulica 30 000 vezes superior à do solo, contudo este aspecto não é alvo de abordagem neste trabalho. Os emissores são auto-compensantes, característica que garante a estabilidade do caudal (Pereira 2004).

Exactamente por cima dos emissores, encontra-se uma fita impermeável que deflecte a água para baixo. É a fita de deflexão que maximiza a absorção da água pela fibra capilar.

Os fabricantes do sistema garantem que se usa menos 85% de água do que com os sistemas por aspersão; relativamente à rega gota-a-gota, o sistema gasta cerca de 60% menos de água e humedece 300% mais volume de solo.

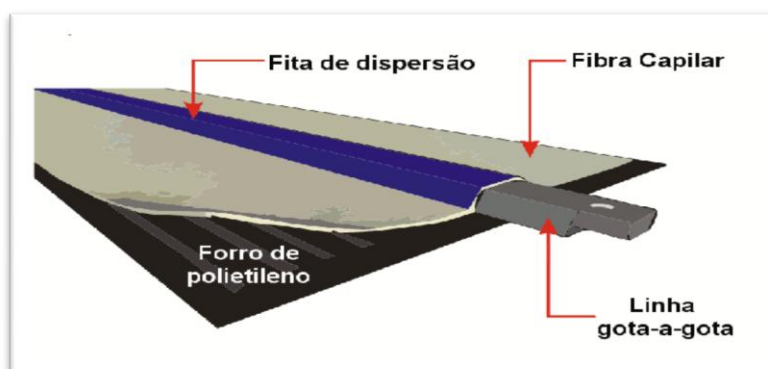


Figura 4 – Sistema de rega capilar subsuperficial⁵

Para além de usar menos água, reduz até 30% a quantidade de fertilizante necessária e aplica-o no subsolo, evitando a perigosa perda por escorrência do mesmo. Para além disto, o facto de estar enterrado torna-o menos susceptível a ataques de vandalismo e roubo e permite a aplicação de águas cinzentas de forma segura para os humanos e animais domésticos.

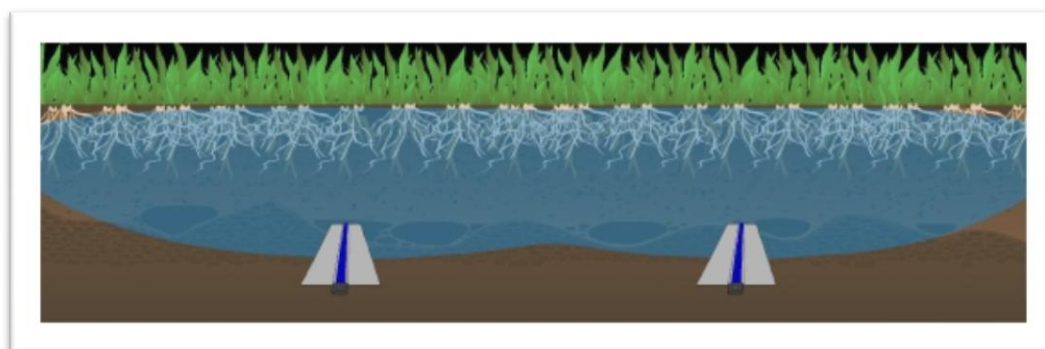


Figura 5 – Padrão de distribuição da água no solo com o sistema KISSS⁶

Consegue-se também um controlo mais eficaz das infestantes, já que a água não chega à superfície do solo, onde se encontram as sementes destas. Esta característica é comum aos restantes sistemas subterrâneos (Solomon 1994). (Figura 6)

Os padrões de distribuição da água que se obtêm com este sistema são mais largos e uniformes e asseguram que as condições à superfície sejam mais estáveis. Como se pode ver pela simulação representada na Figura 7, a água não chega à superfície do solo e não se formam os túneis associados a outros sistemas. (Lamm 2002).

⁵Fonte: Irrigation Water Technologies America, Subsurface Capillary Irrigation – Instalation Manual

⁶Fonte: www.kissusa.com

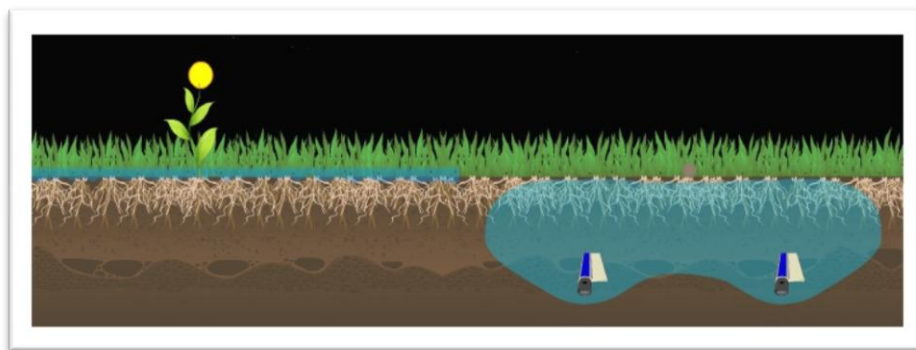


Figura 6 – Aspersão vs KISSS®⁷

Na linha gota-a-gota deste produto, os emissores têm um espaçamento de 45 cm na linha. Segundo os fabricantes, este não é o factor mais importante. A fibra conduz a água mais rapidamente que o solo, então, quando este começa a absorver a água, já o material se encontra completamente humedecido.

A água é aplicada continuamente ao longo de todo o comprimento do material. Por este motivo, o caudal vem expresso em $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-1}$. Por sua vez, o que determina o caudal é a capacidade que a água tem de se deslocar no solo através do fenómeno da capilaridade. No caso dos sistemas superficiais, é a taxa de infiltração do solo que determina o caudal a aplicar.

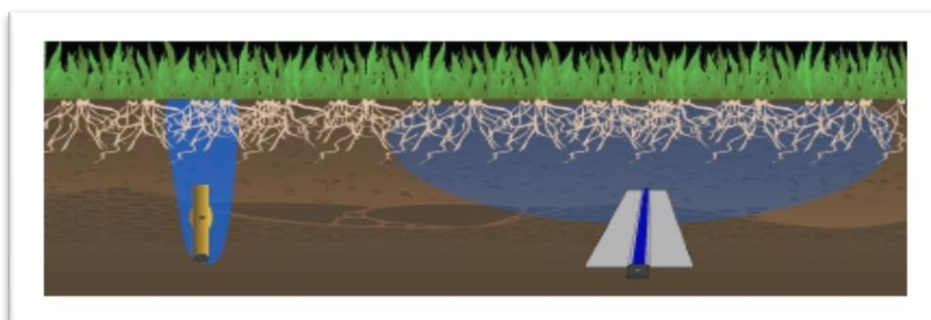


Figura 7 – Sistema gota-a-gota subterrâneo, à esquerda, vs sistema KISSS®, à direita⁸

É necessário determinar as características do solo, como a textura, a estrutura, a condutividade hidráulica e ascensão capilar, já que estes factores influenciam a movimentação da água no solo por capilaridade (Costa 1975). Esta característica é essencial para determinar o caudal a debitar.

Desta forma é possível determinar: qual o espaçamento a utilizar entre as linhas para obter uma boa uniformidade de distribuição; qual a profundidade à qual se mantém eficiente, a duração e frequência dos ciclos de rega; quais os melhoramentos do solo a realizar (*engineered soils*); bem como o consumo mínimo de água.

⁷ Fonte: www.kisssusa.com

⁸ *Idem*

Para facilitar os movimentos da água pelo solo até às raízes das plantas, convém manter uma certa humidade constante, e por isso se rega em pequenos episódios diários nos quais se repartem as necessidades hídricas. Isto é importante porque a curva do teor de humidade do solo apresenta um comportamento diferente se o solo está em fase de secagem, ou de humedecimento – é o fenómeno da histerese (Costa 1975). Mais rapidamente se reduz o teor de água do solo do que este volta a humedecer.

A instalação pode ser feita facilmente através da abertura de sulcos no solo, tendo apenas que garantir que o produto se encontra abaixo da zona radicular das plantas que se querem regar. Existe já disponível um sistema adaptado a um tractor que faz a abertura dos sulcos e a instalação do sistema numa só operação (Figura 8). Após a instalação, o tractor passa com a roda para fechar o sulco. O relvado recupera mais ou menos rapidamente, dependendo do ciclo de vida em que o relvado se encontra.



Figura 8 – Instalação do sistema KISSS® com tractor e equipamento específico⁹

Para além destas aplicações, uma outra versão do sistema, que não a deste estudo, mas que se serve dos mesmos princípios, pode ser usada para a drenagem, aplicando uma pressão negativa ao sistema, evitando, muitas vezes, condições adversas nos relvados (Figura 9).

A mesma tecnologia é também utilizada em telhados verdes e viveiros.

⁹ Fonte: www.kissusa.com



Figura 9 – Título de Imprensa acerca do mau estado do relvado de um campo de futebol¹⁰

2.4 O fenómeno da capilaridade no solo

No capítulo anterior fizeram-se várias referências à capilaridade. Esta é a principal característica que define todo o sistema em estudo, sendo importante perceber como se processa este fenómeno de transporte de água no solo.

No solo, a água pode encontrar-se adsorvida nas superfícies dos colóides (água higroscópica) estando sujeita a fenómenos de capilaridade, constituindo películas contínuas em torno das partículas de terra e nos microporos, e deslocando-se com preenchimento destes espaços intersticiais (água capilar). Pode não estar retida pelo solo, deslocando-se apenas nos macroporos sob a acção da gravidade, caso não encontre camadas impermeáveis (água gravitacional). (Briggs 1897 *cit in* Costa 1975)

Num dado instante, é desta forma que se podem definir as diferentes formas em que a água pode ser encontrada no solo. Isto não significa que, posteriormente, a água que se perdeu devido à gravidade e que tenha encontrado, num horizonte inferior, uma camada impermeável, ou a toalha freática, não volte a subir, desta vez, por capilaridade, a horizontes mais superficiais, após a perda de humidade pelas camadas superiores (Costa 1975).

A retenção e o movimento da água no solo abrangem processos complexos. Podem ser distinguidos: o caso de solo saturado de água, em que há preenchimento total pela água do espaço intersticial e em que se faz sentir marcadamente a força da gravidade; e o caso de solo não saturado de água, ou seja, quando uma proporção apreciável do espaço intersticial é ocupada pela atmosfera do solo.

Neste último caso, que é o que nos interessa especificamente, os movimentos de água no estado líquido, embora sejam mais ou menos afectados pela gravidade, dependem essencialmente da acção de forças de atracção entre o solo e a água (Costa 1975). Dentro desta ordem de ideias, foram estabelecidas as noções de potencial capilar, que mede a força de retenção do solo para a água, e

¹⁰ *in* Record on-line, 16 Dezembro 2009

de condutividade capilar, que representa a maior ou menor facilidade de passagem da água dita capilar através do solo. O potencial capilar, num ponto qualquer da água entre as partículas de terra, pode ser definido como a quantidade de trabalho que é necessário realizar para, vencendo apenas as forças de atracção do solo para a água, deslocar verticalmente a unidade de massa de água desde o nível livre da superfície, no nosso caso, o sistema de rega, até à zona radicular.

O movimento de ascensão da água no solo, acima da fonte de água, corresponde a uma situação em que o solo não se encontra saturado por água. O solo pode reter, temporariamente, água nos espaços intersticiais e à superfície das partículas (adsorção). Como as moléculas de água se mantêm unidas devidos às forças de coesão, essa água pode-se deslocar, preenchendo os microporos de secção compatível com fenómenos da capilaridade, forrando espaços intersticiais maiores e constituindo anéis em torno de pontos de contacto das partículas. Esta acumulação dá-se até ao momento em que a aglomeração é tal, que a água se começa a mover por gravidade, de cima para baixo.

Uma vez que é este o processo abrangido pelo sistema em estudo neste trabalho, interessa recordar o mecanismo deste fenómeno.

Na superfície livre de qualquer líquido, devido às forças de coesão entre as moléculas, actua a tensão superficial. Esta apresenta propriedades semelhantes às de uma película elástica esticada, e tende a reduzir o volume do líquido à forma que exponha a mínima superfície. Mergulhando em água uma das extremidades de um tubo capilar, em posição vertical, verifica-se que a água sobe no tubo até uma altura h , tanto quanto menor o diâmetro interno daquele é dada por:

$$h = 4 \frac{\tau \cos \alpha}{\rho d}$$

Em que τ é a tensão superficial, d o diâmetro interno do tubo, α o ângulo de contacto e ρ a massa volúmica da água (Costa 1975, página 412).

Este fenómeno é iniciado pela atracção da superfície interna do tubo para as moléculas de água, da qual resulta a subida das moléculas de água junto à parede do tubo, provocando uma curvatura da superfície livre da água dentro do mesmo. A tensão superficial tende a reduzir a interface água – ar (menisco) à menor área possível, e a formar uma superfície plana. Desta forma, a água sofre uma sucção, elevando-se dentro do tubo. Quanto menor for o diâmetro do tubo, mais pronunciada será a curvatura do menisco e maior a sucção estabelecida e, por consequência, maior a altura que a água atinge dentro do tubo, correspondendo ao equilíbrio entre a força de sucção e o peso da coluna de água. Fazendo a analogia com o solo, a água tenderá a mover-se de pontos do sistema onde as curvaturas dos meniscos são menores, para pontos em que sejam maiores. Portanto, quanto menor o diâmetro dos poros, maior será, em teoria, a deslocação da água segundo este fenómeno.

A velocidade e o alcance do movimento da água em solo não saturado são normalmente bastante menores do que se poderia calcular a partir das leis da capilaridade, por várias razões, entre as quais as seguintes (Costa 1975):

- a. Extraordinária complexidade da geometria do espaço intersticial;

- b. Maior ou menor descontinuidade do espaço intersticial, com existência de macroporos – que não permite movimento capilar;
- c. Aumento de volume dos colóides por embebição com água (alteração da geometria);
- d. Presença de ar aprisionado, parte do qual não é facilmente removido.

A analogia estabelecida é apenas formal e qualitativa, importando dela fixar que para que haja movimento de água capilar no solo é indispensável que exista ou se estabeleça um gradiente de tensão de humidade (no caso deste estudo: do maior teor de água, na proximidade do sistema de rega, ao menor, à superfície do solo).

Em tal hipótese, o movimento poderá verificar-se em qualquer sentido: verticalmente ou lateralmente (horizontalmente ou obliquamente), a favor ou contra a acção da gravidade (Costa 1975, página 412).

2.5 A utilização do EnviroSCAN® para a medição do teor de humidade do solo

Existem três formas de medir a humidade do solo: através do teor gravimétrico de humidade do solo, do teor volumétrico, e do potencial hídrico. A descrição usada depende apenas de que forma a informação recolhida será usada. Podem-se usar os três métodos para o mesmo fim, como por exemplo, determinar a necessidade de rega num determinado momento. (Charlesworth 2005)

O teor volumétrico é o método mais popular de reportar o teor de humidade de um solo e é extremamente útil a dizer quão cheio de água o solo está, mas não diz o quão acessível essa água está. Poderá estar mais ou menos retida, e esta informação consegue-se com a medição do potencial mátrico.

O sistema EnviroSCAN® foi desenvolvido para devolver leituras do teor (volumétrico) de humidade do solo através de múltiplos sensores SENTEK, instalados numa tubagem de plástico extrudido, com intervalos de 10 cm. (Figura 10).

As leituras dos sensores são registadas por um sistema de aquisição de dados (*datalogger*), a intervalos de tempo tão pequenos quanto 1 minuto, efectuando as contagens das frequências de oscilação, que por sua vez, são proporcionais à capacitância do solo em estudo. O *software* que vem com o sistema permite organizar os dados recolhidos em gráficos de perfil do teor de humidade do solo.

O sistema consiste numa unidade de registo de dados, sondas (sensores, tubagem de plástico extrudido e respectiva tampa), todos os cabos necessários e o *software*.

A unidade de registo de dados está ligada através de cabos às sondas que podem ter até 500m de comprimento sem que as leituras sejam afectadas de forma significativa, o que permite que este sistema cubra uma grande área (Starr *et al.* 1998).

A unidade subdivide-se em duas fases de cabos, cada um suportando até 16 sensores. Os sensores em cada cabo podem estar todos ligados na mesma sonda ou até quatro sondas diferentes. (Figura 11)



Figura 10 – Sonda EnviroSCAN® com três sensores SENTEK distanciados 10 cm¹¹

A sensibilidade dos sensores foi identificada por estudos independentes sendo, no plano horizontal de 130 a 150 mm a partir do centro do sensor, no plano vertical, 85 a 120 mm do centro (Sentek 1997).

Para a gestão da rega, basta saber de que modo a água armazenada no solo vai variando ao longo do tempo, e para este efeito, é suficiente usar a equação de calibração instalada por defeito no software do sistema.

No entanto, caso se pretendam valores rigorosos do teor de humidade do solo, a SENTEK® aconselha a fazer uma calibração para o tipo de solo em estudo. Apesar da equação de calibração ser adequada à maioria dos tipos de solos, esta pode não ser adequada a tipos de solos menos representativos (Morgan 1999).

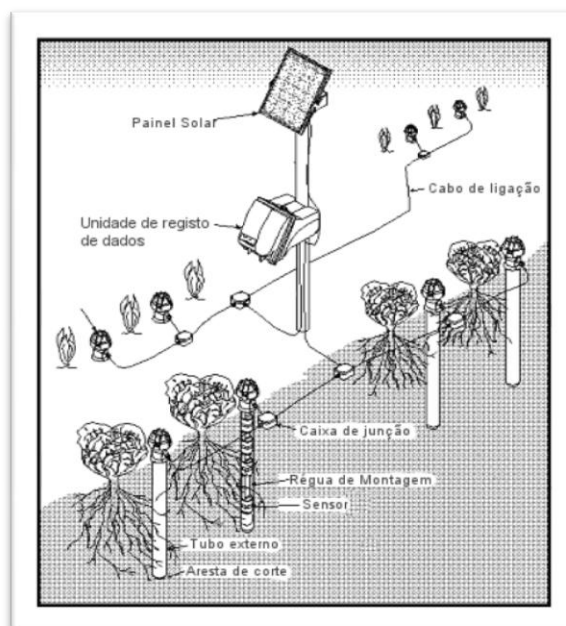


Figura 11 – Esquema dos componentes do sistema EnviroSCAN®

¹¹Fonte: <http://trec.ifas.ufl.edu/kwm/research/images/Figure4KWM-web.jpg>

Para este trabalho, o que se pretende é a comparação entre a distribuição de água no perfil do solo, usando o equipamento adequado para o efeito, e assume-se que esta calibração não é necessária, e que o equipamento é adequado para os resultados que se pretendem.

3 Metodologia experimental

3.1 Descrição do local

O ensaio foi instalado no Campo de Golfe da Quinta do Peru (38,54°N,9.05°W). (Figura 12)

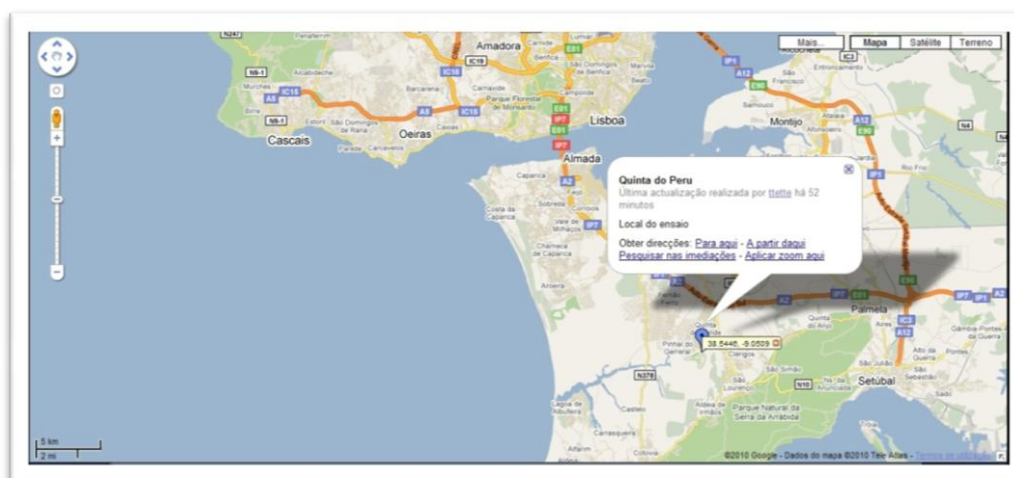


Figura 12 – Mapa de localização ensaio¹²

Para o efeito de eventuais remendos nos *greens*, existe um viveiro de relva, cuja reinstalação ocorreu em Novembro/Dezembro de 2009, no âmbito deste estudo. A principal motivação para a escolha deste local foi a disponibilidade demonstrada pelo responsável pelo campo, bem como o facto de se tratar de um relvado, ideal para testar o sistema em estudo.

Em seguida serão descritas as principais características do local.

3.1.1 Solo

Previamente à instalação do sistema, fez-se uma análise granulométrica do substrato que seria utilizado na preparação dos talhões. Estes valores foram comunicados à empresa que forneceu o material para se saber qual o espaçamento e profundidade recomendadas.

Para a análise, foram tomados 20g de solo previamente homogeneizados. As determinações foram feitas no Laboratório de Solos do Departamento de Ciências do Ambiente do ISA. A amostra foi passada por crivos de diferentes malhas, encontrando-se na Tabela 1, as percentagens correspondentes para as diferentes granulometrias.

¹² Fonte: Google Maps

Tabela 1 – Valores da granulometria da mistura de solo utilizada como substrato para a relva

Amostra	Granulometria		
	Areia Grossa (2000-200µm)	Areia Fina (200-50µm)	Limo e Argila (<50µm)
% da fracção mineral	90,04	9,92	0,04

Tabela 2 – Granulometria do substrato dos 0-20 cm de profundidade, e teor de carbono orgânico

Amostra	Granulometria			C _{org} (g kg ⁻¹)
	Areia Grossa (2000-200µm)	Areia Fina (200-50µm)	Limo e Argila (<50µm)	
% da fracção mineral	86,6	12,7	7	13,92

É de salientar que os primeiros 20 cm de solo são areia lavada misturada com turfa, o substrato escolhido pelo *greenkeeper*. Abaixo destes 20 cm surge o solo nativo, composto por areias finas ricas em matéria orgânica, característica facilmente identificável pela sua cor escura. A análise granulométrica deste horizonte encontra-se na Tabela 3.

Não foram feitas mais análises de solos, porque apenas se tomou o solo em que estariam instalados os sensores, pelo que não se recolheu solo abaixo dos 50 cm.

Estas análises serão importantes para o cruzamento com os dados obtidos pelos sensores.

Tabela 3 – Granulometria do solo dos 20-50 cm de profundidade, e carbono orgânico

Amostra	Granulometria (g kg ⁻¹)			C _{org} (g kg ⁻¹)
	Areia Grossa (2000-200µm)	Areia Fina (200-50µm)	Limo e Argila (<50µm)	
% da fracção mineral	20,8	60	19,2	4,2

3.1.2 Relvado

O relvado instalado é constituído apenas pela espécie *Agrostis stolonifera*, comumente conhecida por creeping bentgrass. (Figura 13)

É uma espécie nativa das áreas temperadas a frias do hemisfério Norte. (Peeters 2004) e é uma planta perene, pequena, glabra, que se reproduz tanto seminal, como vegetativamente, por estolhos. Os caules são ascendentes, com uma altura entre 10 e 60 cm, podendo chegar até aos 100 cm de

altura. Folha enrolada e estreita (1 a 6 mm), quando jovem. A lígula é longa (2 a 8 mm), mais longa que larga, lanceolada, com o topo arredondado. Não tem aurículas, sendo a flor uma inflorescência solta, do tipo panícula, larga, que se contrai após a floração. A inflorescência pode medir de 2 a 15 cm.

Relativamente à ecologia, encontra-se especialmente nas terras baixas, mas também em zonas montanhosas, até uma altitude de 2000 m nos Alpes, nas margens dos rios e nos aluviões (Rameau *et al.*, 1993).



Figura 13 – *Agrostis stolonifera*; Legenda: a- flor b-lígula¹³

Tem uma clara preferência por solos frescos a molhados, onde abunda, com elevado teor de matéria orgânica, sendo alguns deles bastante turfosos. Pode até ser bem sucedida na superfície dos lagos nos quais as suas folhas flutuantes podem cobrir até centenas de metros quadrados (Peeters, 2004). Tolerante bastante bem os solos ácidos. A subespécie *maritima* é tolerante ao sal.

A espécie tem uma distribuição geográfica bastante alargada dando-se bem em praticamente todos os tipos de solos. No entanto, o grau de conforto hídrico vai determinar se esta tem um desenvolvimento profuso, quase invasivo, no caso de turfas orgânicas e húmidas ou mais moderado, no caso de solos com menor teor de humidade. Do ponto de vista topográfico, esta espécie encontra-se geralmente em vales, ou nas encostas de colinas ensombradas, em declives com nascentes e em planícies húmidas.

¹³ Fonte: <http://biologia.c0.pl/viewtopic.php?t=153>

É muito bem adaptada a climas húmidos, mas tem uma distribuição ampla, sendo frequentemente encontrada em climas continentais. Tolerar bem o frio e a sombra, especialmente em pomares antigos, sendo, no entanto, sensível à falta de água.

Regimes de corte mais agressivos e frequentes mantêm-na sob controlo ao passo que cortes altos e longos períodos de crescimento favorecem o seu desenvolvimento.

É pouco competitiva, a não ser que se encontre em condições óptimas para o seu desenvolvimento, onde se desenvolve em grandes manchas. Cresce então em vagas sucessivas, através dos estolhos, acabando por abafar tudo o resto. (Peeters 2004).

Pode ser usada como planta indicadora de solos húmidos e ricos em nutrientes.

Na instalação dos *greens*, a densidade de sementeira é de 25 a 50 kg ha⁻¹ (Beard 2002).

No entanto, no local do ensaio, a variedade usada foi *Pennncross*, com uma densidade de sementeira de 80 kg ha⁻¹, bastante superior ao normal.

Nos *greens*, a altura do corte varia entre 2,5 a 4,8 mm, para as cultivares de alta densidade, como a *Pennncross*, a altura mínima será de 3,2 mm (Beard 2002), com uma frequência de 6 a 7 dias por semana, alternando sempre a direcção do corte, para não criar vícios no crescimento da relva.

O pH preferido situa-se entre os 5,5 e 6,5.

Deve-se regar antes de apresentar sintomas de emurchecimento, ao longo de toda a zona radicular. Poderá ser necessária a aplicação de água a meio do dia, para prevenir o emurchecimento, sendo o *timing* definido pelo aparecimento de pegadas marcadas (*footprint symptom*), tendo o cuidado de não aplicar água em excesso.

Devem-se fazer aplicações de areia (*topdressing*) para controlar o *thatch* entre duas a seis vezes por ano, pelo menos na Primavera e no Outono de 14 a 28 m³ ha⁻¹ (Beard 2002).

Geralmente as subespécies de *Agrostis* são bastante susceptíveis a doenças, principalmente as causadas por patogénicos como o género *Fusarium*. No entanto, esta sensibilidade varia muito entre as subespécies de *Agrostis* (Peeters 2004).

3.1.3 Características climáticas

De acordo com Miranda (2002) o clima não é estático e existem fortes evidências de que tem sofrido oscilações ao longo da história do planeta. São oscilações lentas, de natureza diferente das meteorológicas, estas últimas rápidas. No entanto, conhecer o estado médio da atmosfera num dado local, é fundamental para o planeamento das actividades humanas.

Os dados climáticos foram recolhidos na estação meteorológica do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, Bacia do Tejo, do Monte da Caparica, com o código de identificação 22B/01C. Existe uma estação mais próxima, a de Vila Nogueira de Azeitão - 22C/02UG – no entanto, os

parâmetros disponibilizados não são suficientes para o cálculo da ET_0 , segundo o método escolhido. É certo que a estação do Monte da Caparica tem uma maior influência da massa de água do Tejo e Atlântico que a de Vila Nogueira de Azeitão, mas esta última estação nem dados relativos à temperatura possui, para o período em estudo.

No entanto, a gestão da rega, quer para o sistema de controlo (a aspersão), quer para o sistema em estudo, foi definida tendo por base os mesmos dados climáticos. Como o objectivo deste trabalho é o de determinar a diferença do consumo de água por dois sistemas diferentes para uma mesma cultura (o relvado), no mesmo local, admite-se que o erro dado pela localização da estação não irá interferir nos resultados, já que o que se pretende é a diferença de consumos de água para as mesmas condições meteorológicas.

Os principais dados climáticos a ter em conta são:

- a temperatura máxima diária;
- a temperatura mínima diária;
- a precipitação diária;
- a velocidade média do vento diária;
- a humidade média relativa diária e
- a insolação líquida diária.

São estes os parâmetros que foram usados para o cálculo da Evapotranspiração de Referência.

Os dados recolhidos na estação são diários.

3.1.3.1 Evapotranspiração cultural

A necessidade de água é definida como a altura de água necessária para repor a água de uma cultura saudável, crescendo em grandes áreas sem restrições de solo (incluindo a água no solo e a fertilidade) e atingindo todo o potencial de produção sob o dado ambiente de produção (Doorenbos *et al.* 1984).

O efeito do clima nas necessidades de água é dado pela evapotranspiração de referência – “a taxa de evapotranspiração de uma superfície extensa coberta uniformemente por erva verde de 8 a 15 cm de altura, em crescimento activo, ensombrando completamente o solo e sem restrições de água”. (Doorenbos *et al.* 1984)

Como já foi referido, são vários os factores ambientais que influenciam estes mecanismos de troca. Para o cálculo da Evapotranspiração de Referência (ET_0) foram utilizados os dados climáticos da estação identificada no capítulo anterior.

O ensombramento provocado pela cultura e a quantidade de água disponível na superfície do solo também afecta a evaporação. Quando o solo é capaz e fornecer a água evaporada, são as condições atmosféricas que determinam este processo. No entanto, se o intervalo entre regas e a queda de precipitação (entre outros) é grande, os movimentos de água no solo abrandam, a superfície do solo torna-se mais seca e a evaporação a partir desta superfície é mais limitada. Pode-se então dizer que a disponibilidade de água no solo exerce uma função de controlo na evaporação. Na ausência de água na superfície do solo, os processos de evaporação podem cessar em poucos dias (Allen *et al.* 1998)

No entanto, para obter a evapotranspiração em condições reais, para uma dada cultura, é necessário multiplicar a ET_0 pelo respectivo coeficiente cultural K_c . Estes valores variam segundo as várias fontes consultadas, que apresentam valores gerais para espécies de relvados de estação fria, como se pode verificar na Tabela 4. Foi encontrada uma única fonte para a espécie usada em questão, mas apenas para a fase madura da cultura.

Tabela 4 – Valores de K_c para a fase média de desenvolvimento de diversos tipos de relvados, segundo várias fontes

Espécie/Fonte	Relva de climas frios / Allen <i>et al.</i> 1998*	Relva de climas frios / Brown**	Agrostis stolonifera / Horgan, 2009***
K_c	0,95	0,72	0,98

* Estimando que a altura máxima é de 10 cm.

** Estimando que o corte é a 2,5 cm de altura / <http://ag.arizona.edu/azmet/et1.htm>

*** Corte a 2 cm de altura

De acordo com Allen *et al.* (1998), de cada vez que se corta a cultura, o K_c baixa, entrando numa nova fase de crescimento. Portanto, a relva com um corte mais baixo, verá o seu K_c reduzido por ter uma área foliar reduzida. No entanto, após ser cortada, a relva entra numa nova fase de crescimento, com o metabolismo mais acelerado, e o seu K_c aumenta.

No caso dos *greens* os cortes são bastante baixos, podendo ser de apenas 7,5 mm, chegando mesmo a 3,5 mm em alguns casos, e nos *fairways* a relva é normalmente cortada entre 1,5 a 2,5 cm. Deste modo, pode-se estimar um valor para o K_c que, de acordo com os fornecedores do sistema em estudo é 0,5. É este valor o admitido para os cálculos deste trabalho.

3.1.4 Sistema existente

O viveiro inicial é regado por aspersão com aspersores estáticos da marca Toro®, modelo 2001, instalados nos quatro cantos do viveiro, representado na Figura 14. Apenas será utilizada metade da área do viveiro, representada a verde na Figura 14.

A pressão é fornecida ao sistema através do mesmo sistema de bombagem utilizado para criar pressão em todo o campo. A pressão à saída da bomba é de 8 kg cm^{-2} e à saída dos aspersores do local do ensaio é de 5 kgf cm^{-2} e foi medida usando um manómetro mecânico (Figura 15), fornecido pela marca. As pressões indicativas do catálogo da Toro® são medidas com este equipamento, para que em campo se possa controlar essa mesma pressão e saber o caudal e diâmetro molhado no terreno. Foi isso que se fez.

As tubagens são em PVC, com 63 mm de diâmetro. A ponteira usada foi a amarela, tendo portanto, uma gama de alcances de 14,6 a 16,7 m e de caudais entre $3,5 \times 10^{-4}$ a $5,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. (Tabela 5)

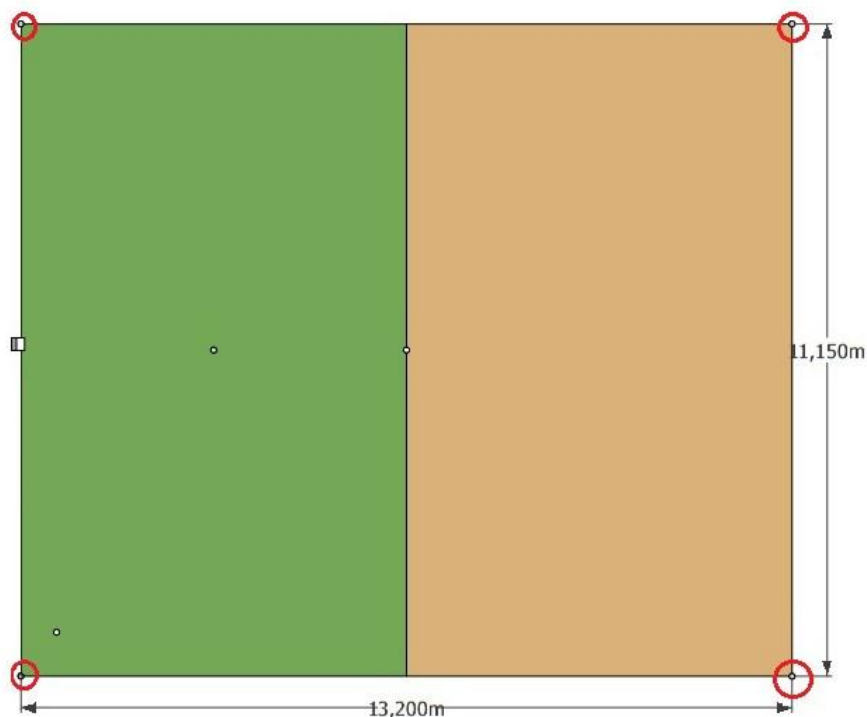


Figura 14 – Esquema do talhão de controlo, com os aspersores, a vermelho.

Para o valor de pressão medido no local, os 5 kgf cm^{-2} já referidos, o caudal debitado pelos aspersores é de $4,90 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e o raio de 15,94 m, resultados estes que foram obtidos por interpolação dos valores registados na Tabela 5.



Figura 15 – Manómetro usado para medir a pressão directamente no bico do aspersor

Tabela 5 – Alcances e Caudais segundo um gradiente de pressão, do Aspensor Toro® 2001, com a ponteira amarela¹⁴

Pressão	Bar	2,75	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00
	kPa	275	300	350	400	450	500	550	600
	Kg cm ⁻²	2,8	3,06	3,57	4,08	4,59	5,10	5,61	6,12
Raio (m)		14,6	14,8	15,3	15,5	15,7	16,0	16,4	16,7
Caudal (l min ⁻¹)		21,2	22,4	24,8	26,4	28,1	29,7	31,4	33,0

3.2 Descrição da instalação

O sistema em estudo foi instalado durante a renovação do viveiro inicial. A área inicial do viveiro foi ampliada para receber as linhas do sistema. (Figura 16)

Antes da preparação do terreno, procedeu-se à abertura da vala para a instalação das tubagens que levam a água ao sistema em estudo, com o auxílio de enxadas.

Após a abertura da vala, instalou-se a tomada em carga, na tubagem de 63mm de diâmetro que abastece os aspersores, com saída de uma polegada à qual se ligou a válvula de fecho manual da linha. Após a válvula manual instalou-se o redutor de pressão, a válvula eléctrica, o contador e um filtro de 130 mesh, tudo dentro de uma caixa de rega. (Figura 17)

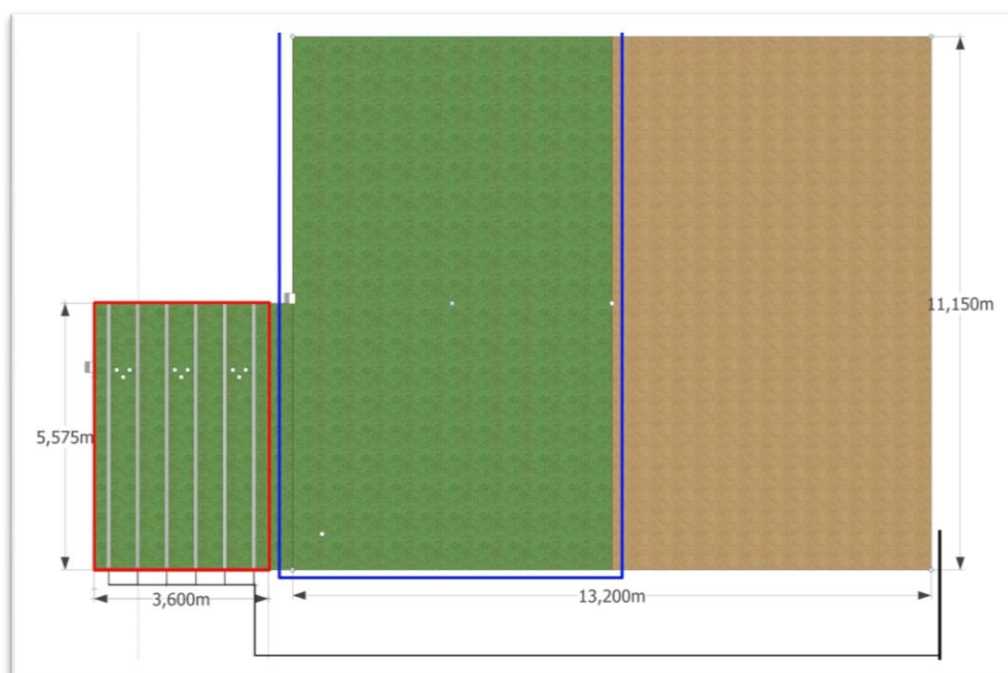


Figura 16 – Vista geral do ensaio (a vermelho – a área do sistema em estudo, a azul – a metade do viveiro existente usada como talhão de controlo.)

¹⁴ Fonte: Toro®

Devido a limitações de material e espaço, bem como das instalações já existentes, não foi possível tratar talhões com a mesma área. Este factor foi tido em conta, e será abordado na discussão dos resultados.

A partir deste ponto ligou-se a tubagem de polietileno de uma polegada, que abastece as linhas do sistema em estudo. Foram usados 17 metros de tubo.

Verificou-se se existiam fugas ao longo de toda esta instalação e corrigiram-se as mesmas, antes de se fechar a vala.



Figura 17 – Caixa de rega do sistema em estudo

O filtro e o regulador de pressão são requisitos para o bom funcionamento do sistema em estudo. Os emissores do sistema são autocompensantes dentro de uma gama de pressões limitada (41,37 a 172,37 kPa). O redutor de pressão reduz a pressão inicial de 786,00 kPa para 68,95 kPa, e o filtro retém as partículas que, de outro modo, seriam responsáveis pelo entupimento do sistema.

Em instalações definitivas, é obrigatória a instalação de válvulas de purga no final das linhas, para garantir a durabilidade do sistema.

Os restos do relvado da época anterior foram removidos com o auxílio de um tractor com pá frontal, ficando o terreno pronto para ser preparado de igual modo em ambos os talhões em estudo.

Para nivelar o terreno e garantir que os primeiros 20cm de solo eram idênticos em ambos os talhões, foi adicionada uma mistura de areia e turfa vegetal. A mistura, composta por 70% de areia lavada (granulometria em 3.1.1), e 30% de turfa vegetal cobriu então o solo nativo. (Tabela 3)



Figura 18 – Mistura de areia e turfa, antes da sementeira

Finalizada esta operação, abriram-se manualmente as valas para a instalação das linhas do sistema em estudo, recorrendo, para isso, a um sacho de jardim, com uma pá de 10 cm de largura.

Durante este processo de abertura das valas, foram colhidas também as amostras de solo (estas já com turfa), para realizar análises mais completas (3.1.1).

Para este tipo de solo, a profundidade de instalação do sistema de rega recomendada pelos fabricantes, para a relva, é de 20 cm. O espaçamento recomendado é de 60 cm.

Para se poderem comparar as diferentes profundidades de instalação de forma a escolher a mais adequada, instalaram-se 3 linhas pareadas do sistema, a 10 cm, 20 cm e 30 cm de profundidade, com um espaçamento lateral de 60 cm. (Figura 19) Uma análise sobre o espaçamento mais adequado também seria interessante, no entanto, devido a limitações de material e de espaço, não se estudou este factor.

As diferentes profundidades de instalação têm como objectivo avaliar a distribuição da água ao nível do perfil do solo, para as diferentes modalidades do ensaio e determinar a profundidade que melhor favorece a distribuição de água ao sistema radicular do relvado.

Existem três variedades diferentes do sistema de rega, com débitos diferentes. A variedade usada no ensaio debita um caudal de $1,12 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$.

Foram instalados 6 x 5,575 m de linha. Portanto, o caudal necessário será de $3,75 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, tendo em conta que a pressão de água fornecida se mantenha no intervalo de pressões já referidos.

Recorde-se que os emissores são auto-compensantes, pelo que a estabilidade do caudal está garantida para este intervalo de pressão.

A metade do viveiro inicial foi usada como talhão de controlo. **Até à emergência da relva, ambos os talhões foram regados com o sistema de aspersão e por precipitação natural, já que dado que o sistema em estudo não humedece a superfície do solo (2.3.2.2), este não pode ser utilizado para a germinação de sementes.**

No último quartil de cada um dos pares de linhas, instalaram-se sondas EnviroSCAN®, que fizeram a medição do teor de humidade do solo no perfil ao longo do período de estudo, bem como no talhão de controlo.

Deste modo, é possível obter uma imagem de como a água se distribui no solo a partir do sistema em estudo, em comparação com o sistema de aspersão.

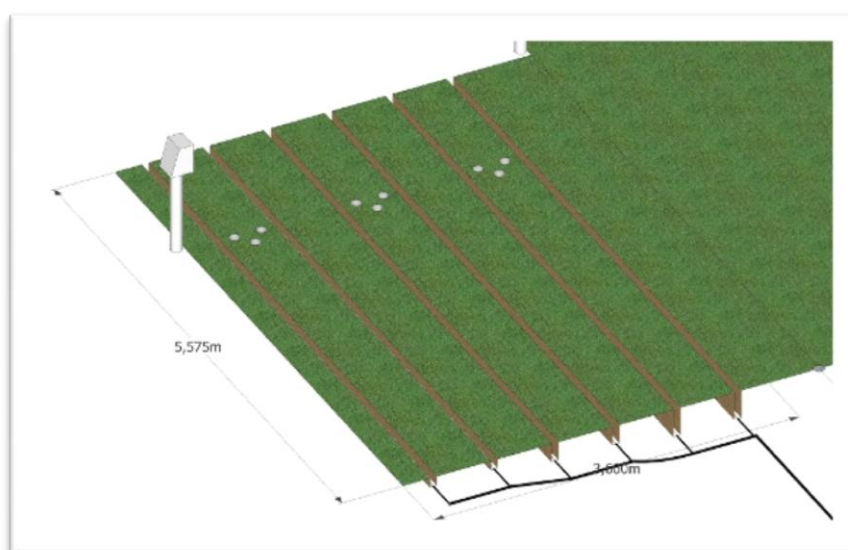


Figura 19 – Vista esquemática da instalação das linhas do sistema a profundidades diferentes

3.3 Análises realizadas

3.3.1 Medição da humidade do solo

Para o presente ensaio, foram instaladas no terreno 12 sondas, cada uma com 4 sensores que registam a humidade do solo aos 10, 20, 30 e 50 cm de profundidade.

Estas profundidades foram seleccionadas, tendo em conta a área de influência de cada sensor (2.5).

Foram também instaladas três sondas no talhão de controlo, tendo em conta as diferenças que ocorrem na quantidade de água que chega ao solo, com a distância ao aspersor, bem como a intersecção dos raios molhados. Optou-se então, por instalar uma sonda na zona de intersecção dos quatro diâmetros molhados, outra na zona de intersecção de apenas dois, e uma terceira na área de influência de um único aspersor, com sensores à mesma profundidade daqueles instalados no sistema em estudo.

Tendo isto em conta, as três sondas entre cada linha pareada foram dispostas em triângulo (Figura 20), já que o corpo de uma sonda é um obstáculo físico à propagação da água, influenciando as leituras obtidas na migração lateral da água no solo. (Fernández-Gálvez *et al.* 2006).

A cada fase por sistema de aquisição de dados (*logger*) correspondem 3 sondas, portanto, 12 sensores.

Cada sonda foi identificada com uma letra que corresponde a um conjunto específico de dados, como se pode observar na Tabela 6.

Este foi o *layout* inicial da experiência. No entanto, a sonda K identificada na Tabela 6 (que estava instalada na intersecção do diâmetro molhado de dois aspersores) apresentou problemas logo na primeira semana do ensaio, e não havendo possibilidade de resolver o problema, esta foi removida. A sonda inicialmente identificada como L, tomou então a identificação K.

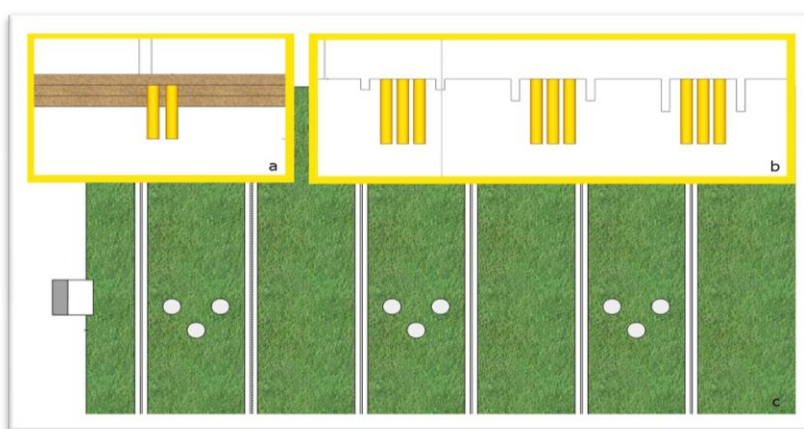


Figura 20 – Vista da Instalação das Sondas no terreno em: a) corte transversal; b) corte longitudinal; c) planta

Na Figura 21, encontra-se representada a distribuição espacial das sondas, tendo já em conta a alteração já referida. Como se pode ver, as sondas A, B, C recolheram os dados correspondentes à linha instalada aos 10 cm de profundidade, as sondas D, E, F recolheram os dados correspondentes à linha instalada a 20 cm de profundidade, as sondas G, H, I recolheram os dados das sondas da linha instalada aos 30 cm de profundidade e as sondas J e K os dados relativos ao sistema de aspersão.

Deve-se também referir, que os diferentes sensores serão identificados ao longo do texto pela letra da sonda a que pertencem, seguida da profundidade a que o sensor se encontra. Por exemplo: A20 será o sensor da sonda A, que regista os dados aos 20 cm de profundidade.

Esta identificação é de extrema importância, pois daqui em diante será através deste sistema que se identificará exactamente qual o sensor do qual se fala.

Tabela 6 – Distribuição das sondas de acordo com os dois *loggers* usados no ensaio

		F a s e	Sonda	Identificação
Logger 1	Fase A		1	A
			2	B
			3	C
	Fase B		1	D
			2	E
			3	F
Logger 2	Fase A		1	G
			2	H
			3	I
	Fase B		1	J
			2	K
			3	L

A montagem do sistema no campo foi feita de acordo com os procedimentos descritos no manual de instalação do sistema EnviroSCAN® (Sentek 1997).

Como já foi explicado anteriormente, as sondas não foram calibradas para o local em questão, já que o processo de calibração implicaria recursos que não se encontravam disponíveis. Foi, então, usada a curva de calibração de fábrica, com a equação

$$SF = 0,1957 \times \theta_v^{0,404} + 0,02852$$

$R^2=0,9737$; $CV=0,01\%$

SF – scaled frequency

Θ_v – teor volumétrico de água no solo, em mm.

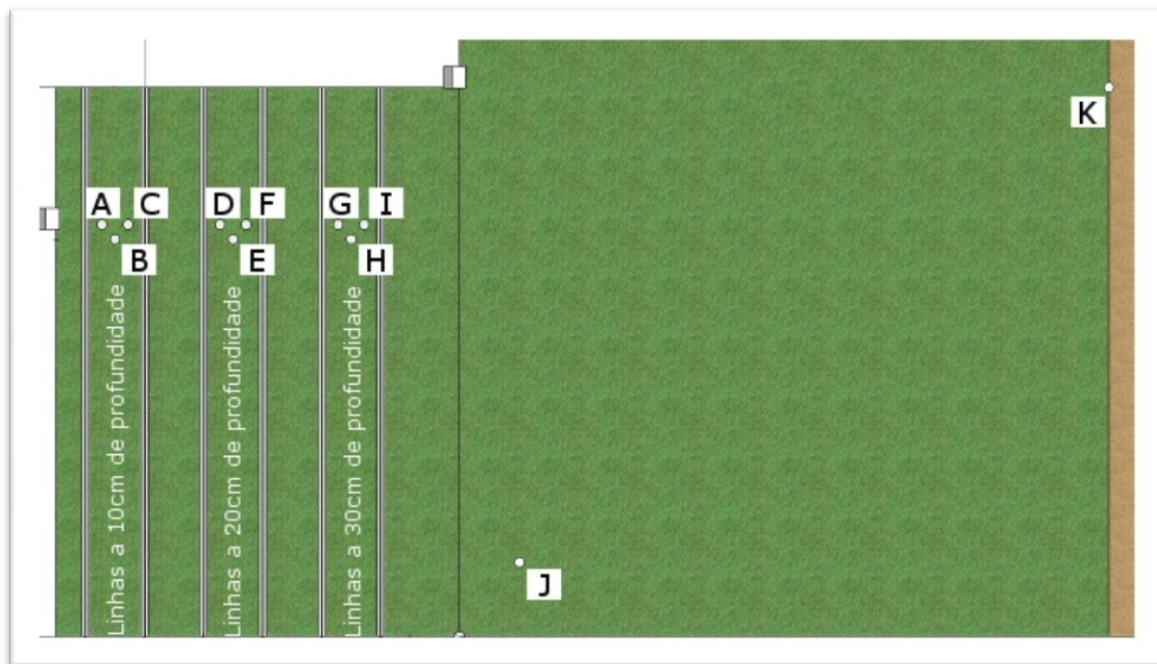


Figura 21 – Localização das diferentes sondas no terreno

Esta curva adapta-se a solos arenosos, limosos e argilo-limosos, tendo sido desenvolvida pelo Departamento de Indústrias Primárias, Sentek, Pty, Ltd., da Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).

Quando os valores recolhidos são organizados num gráfico, formam uma relação descrita por uma equação matemática, normalmente a equação de calibração. Desta forma, os valores de humidade lidos pelos sensores são directamente relacionados com os valores reais determinados no solo.

Antes de o sistema ser instalado no local do ensaio, foi feita uma normalização dos sensores. A normalização é feita no ar e na água, de forma a permitir a comparação das leituras das contagens brutas entre sondas diferentes. Com o passar do tempo, a sensibilidade dos sensores altera-se, pelo que é preciso fazer esta normalização para eliminar esta variável.

A normalização foi feita no campo, com a água de rega, usando, para as leituras em água, um balde especial para o efeito (Figura 22), atravessado por um tubo com as mesmas características dos tubos de acesso do sistema, de acordo com o procedimento indicado no manual do equipamento (Sentek 1997).

No menu de configuração do *logger* (Figura 23), selecciona-se a célula que corresponde ao sensor que queremos normalizar, e dá-se a ordem de leitura desse sensor específico. Faz-se o mesmo, mas com o sensor posicionado a meio do tubo que atravessa o balde com água, para a obtenção do valor em água.



Figura 22 – Balde utilizado na normalização dos sensores

Depois desta normalização, as sondas foram instaladas nos seus lugares definitivos.

O sistema EnviroSCAN® tem como opção a instalação de um painel solar que carrega uma bateria de 12V que alimenta o sistema. No entanto, devido à idade do equipamento, as baterias não se encontravam em boas condições, optando-se por uma fonte externa.

Os *loggers* foram ligados a transformadores AC/DC e os transformadores a uma extensão. A tensão dos transformadores foi regulada para 17V (Sentek 1997).

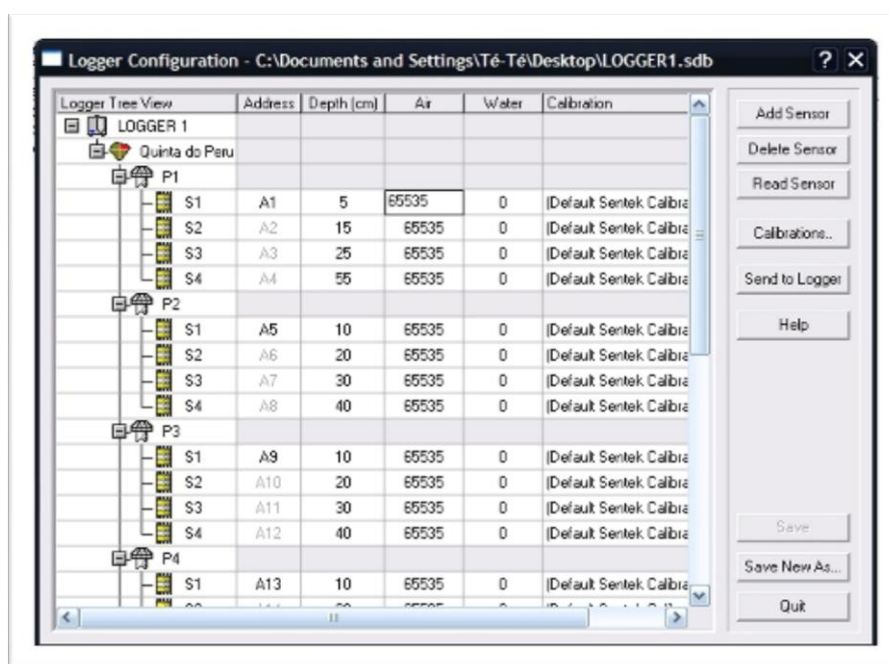


Figura 23 – Ecrã de configuração do *Logger* (normalização dos sensores)

As ligações foram feitas dentro de caixas estanques (Figura 24), uma para cada *logger*.

Os *loggers* foram programados para recolher dados de 2 em 2 minutos, dado que as regas são de curta duração.



Figura 24 – Caixas estanques usadas para fazer as ligações eléctricas

4 Resultados e Discussão

A gestão da água aplicada foi da responsabilidade do *greenkeeper* do campo do local do ensaio.

Como, de acordo com os fabricantes da marca, o sistema KISSS® pode poupar até 80% de água, relativamente ao sistema de aspersão, foi este o factor usado para decidir sobre as dotações de rega a aplicar com o sistema em estudo. Já foi referido anteriormente que as áreas dos dois sistemas de rega são diferentes, e para se poder resolver esta situação houve a necessidade de se efectuarem cálculos, que se encontram em Anexo, para se poderem comparar os dois sistemas.

A partir destes cálculos determinou-se que o tempo de rega com o sistema em estudo acrescia 55% ao tempo de rega com o sistema de aspersão, portanto, por cada minuto regado com a aspersão, o sistema KISSS® funcionaria 1 min 33 s.

Esta relação foi mantida sempre, até ao dia 30 de Junho, altura em que se aumentou a dotação do sistema KISSS para 30% da água dada com a aspersão. (Cálculos no Anexo). Por cada minuto de rega com a aspersão, passou-se a regar 2 min 20 s com o sistema KISSS®.

Para efeitos de programação de rega (o programador apenas funciona com intervalos mínimos de 1 minuto), os arredondamentos foram sempre feitos por excesso, ao **total** do tempo determinado.

Foram feitas as seguintes comparações (localização das sondas na Figura 21):

Comparação dos sensores à mesma profundidade dentro de cada tratamento individual, incluindo o controlo (Ex: A10, B10, C10);

Comparação das médias dos sensores à mesma profundidade de cada tratamento, incluindo o controlo (Ex: Média A10, B10, C10 com a Média D10, E10, F10, etc.);

Comparação das médias dos sensores de cada profundidade com as médias dos sensores das restantes profundidades no mesmo tratamento, controlo incluído (Ex: Média A10, B10, C10 com Média A20, B20, C20, etc.).

Foram recolhidas 10 semanas de dados, de 7 de Maio a 26 de Julho de 2010. Existem algumas lacunas de dias neste período, devido a avarias pontuais no sistema de recolha de dados, o que explica a descontinuidade em alguns momentos do período global de recolha de dados.

Para além disto, a extensa colecção de dados que se obteve com este ensaio não será aqui analisada na totalidade, sendo, no entanto, incluída em Anexos, para eventual exploração posterior.

4.1 Análise Preliminar

Após a sementeira da relva e período de emergência, até à instalação do relvado, a rega foi feita sempre recorrendo ao sistema de rega por aspersão.

Devido a esse facto, não foi possível iniciar o ensaio mais cedo, mas por outro lado, permitiu uma instalação homogénea do relvado na totalidade da área de estudo: sistema KISSS® e controlo.

No entanto, mesmo após o dia 7 de Maio, quando se iniciou a rega com o sistema em estudo e a recolha de dados, ocorreram ainda alguns episódios de chuva que poderão servir para evidenciar algumas diferenças que ocorreram entre os diferentes sensores e que poderão induzir a uma análise errada dos mesmos.

No dia 8 de Maio verificou-se uma precipitação de 1,7mm, que foram identificados pelo sistema ENVIROSCAN®. No dia 9 também choveu (4,6 mm) e a reacção dos vários sensores foi diferente (Ver Gráfico 1, 2, 3 e 4).

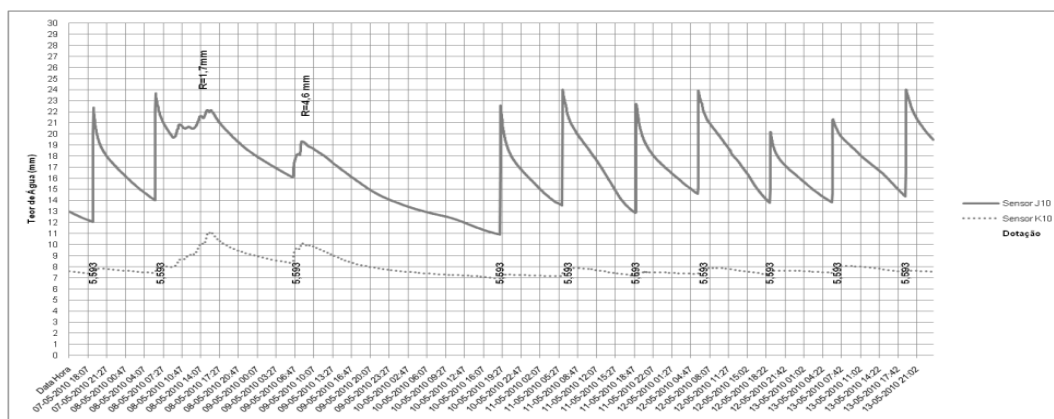


Gráfico 1 – Sensores aos 10 cm de profundidade do talhão da aspersão no período de 7 a 13 de Maio de 2010

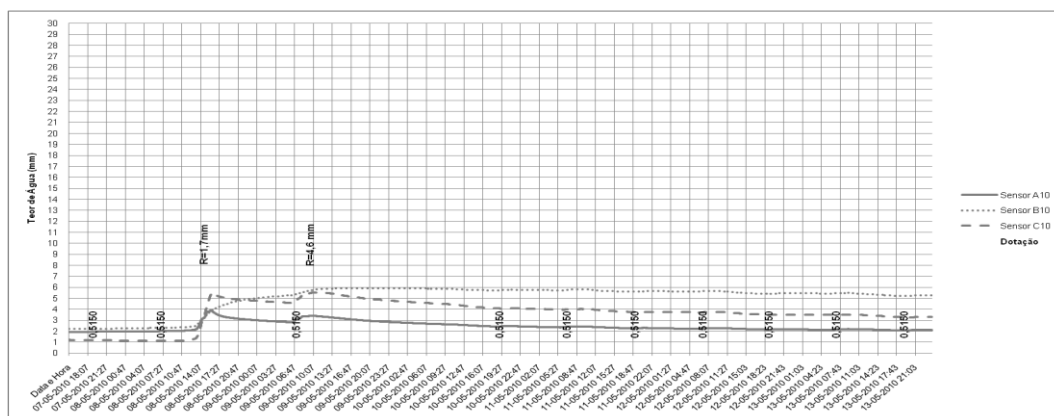


Gráfico 2 – Sensores aos 10 cm de profundidade da linha instalada aos 10 cm no período de 7 a 13 de Maio de 2010

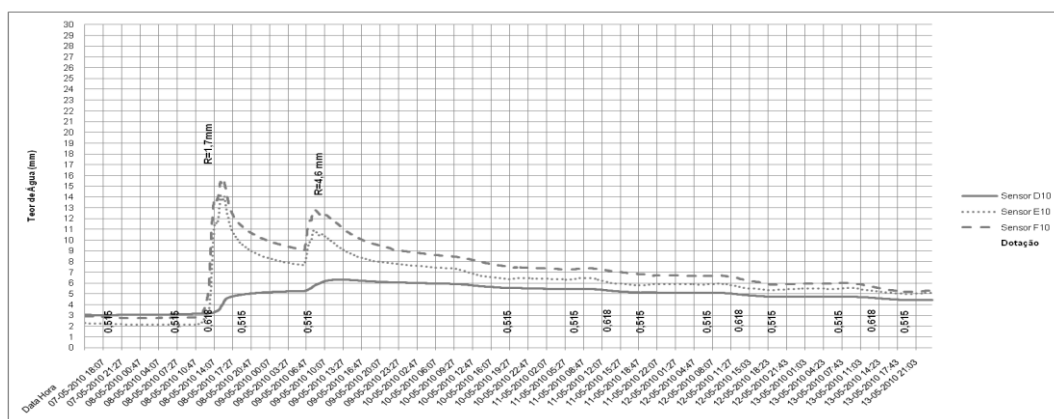


Gráfico 3 – Sensores aos 10 cm de profundidade da linha instalada aos 20 cm no período de 7 a 13 de Maio de 2010

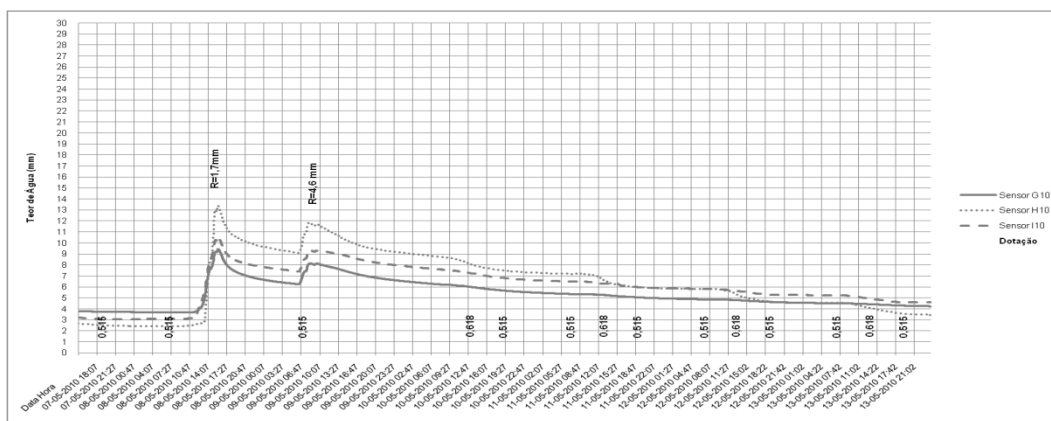


Gráfico 4 – Sensores aos 10 cm de profundidade da linha instalada aos 30 cm no período de 7 a 13 de Maio de 2010

Como se pode constatar pelos Gráficos anteriores, os sensores registam alterações diferentes para os mesmos episódios de chuva. Isto não deveria acontecer, já que estão instalados exactamente à mesma profundidade e como se trata de chuva, não depende da especificidade de cada sistema de rega.

Pode-se ver que, apesar dos teores iniciais de água no solo serem bastante aproximados, à excepção do controlo (aspersão), no momento da queda de precipitação, para o sistema em estudo, a reacção dos sensores aos 10 cm de profundidade não é a mesma. As sondas A, B e C (Sistema instalado aos 10 cm de profundidade) registam subidas muito menores no teor de água do solo do que os outros tratamentos. A aspersão também regista uma subida mais baixa, comparando com os tratamentos das linhas instaladas aos 20 e aos 30 cm de profundidade.

Isto chama a atenção para o facto de poder haver problemas nos sensores, já que a sua sensibilidade para a alteração do teor de água no solo não é a mesma.

Por outro lado, depois do dia 10 de Maio, excepto em raras ocasiões (assinaladas nos gráficos em Anexo) já não choveu mais, e os sistemas de rega voltaram ao seu funcionamento normal. Neste caso, já é normal que os sensores K10 e J10 (Gráfico 1) apresentem valores diferentes. A sonda K está localizada na área de maior influência de um dos aspersores e a J no centro geométrico da figura formada pelos quatro aspersores (Figura 21). Mais uma vez, os resultados não coincidem com o que seria esperado. Isto terá que ser investigado com maior pormenor já que a uniformidade da distribuição da água à superfície do solo nem sempre garante uma uniformidade de água na zona radicular (Hart 1972 *cit in* Li et Kawano 1996), e tratando-se de relva, aos 10 cm de profundidade, as suas raízes já se encontram bem desenvolvidas.

Os resultados foram recolhidos sensor a sensor, e todos os gráficos da totalidade do período em estudo encontram-se em Anexo.

Esperava-se que os sensores à mesma profundidade das sondas A e C apresentassem leituras muito próximas. O mesmo era esperado para os sensores das sondas D e F e das sondas G e I, por serem os sensores que se encontram exactamente à mesma distância horizontal dos emissores, para o

respectivo tratamento do ensaio (Figura 21). No entanto, isto não acontece ao longo do ensaio, e pode ser observado na totalidade dos gráficos em Anexo.

Como já foi referido anteriormente, o funcionamento do sistema de medição do teor de água do solo teve algumas avarias ao longo do período de ensaio. Não foi possível determinar se essas avarias poderão ter influenciado a capacidade de recolha de dados do sistema. Admite-se terem sido avarias pontuais. As grandes diferenças nas leituras que foram obtidas ao longo do trabalho, poderão muito bem dever-se a deficiências na instalação como a má aderência do solo ao tubo de PVC que serve de protecção à sonda, e/ou mesmo a própria heterogeneidade no solo (já que este foi muito remexido aquando da instalação do sistema em estudo) bem como a proximidade a raízes de pinheiros,

No âmbito deste trabalho e com os recursos disponíveis, não foi possível determinar com certeza a origem destas diferenças. Teriam que ser feitas análises mais detalhadas, como utilizar uma malha maior de sondas ao longo das linhas de emissores em teste, bem como várias repetições de cada uma dos tratamentos do ensaio, para efeitos de validação estatística dos resultados.

Devido a estas diferenças, foram tomados os valores médios de cada uma das séries de 3 sensores à mesma profundidade para cada uma dos tratamentos, que foram, por sua vez, comparados entre eles.

No entanto, no caso da linha instalada a 30 cm de profundidade, os sensores H20 e H30 registaram, ao longo de todo o ensaio, oscilações anormais (comparando com os outros sensores equivalentes) que poderão ser vistas nos gráficos em Anexo. Por este motivo, os valores recolhidos por esta sonda não serão incluídos no cálculo desta média.

4.2 Valores Médios

Como já foi dito anteriormente, para uma melhor comparação entre as diferentes profundidades de instalação e a aspersão às diferentes profundidades dos sensores, optou-se pelo cálculo dos valores médios dos sensores das profundidades idênticas, dentro de cada tratamento do ensaio. Desta forma, pode-se comparar directamente os valores de humidade do solo, registados às diferentes profundidades entre tratamentos, bem como a evolução da humidade ao longo do perfil em cada tratamento, assim como no controlo, de acordo com o objectivo do trabalho.

Contrariamente à situação da análise feita no capítulo anterior, para a qual se tomaram os valores registados na primeira semana de recolha de dados, para esta análise, pretende-se um período de tempo onde se verificou uma maior estabilidade do sistema, com as regas a funcionarem continuamente, para se poder assim, efectuar uma comparação válida entre os diferentes valores.

Para este efeito, seleccionou-se a última semana do ensaio, de 20 a 26 de Julho, durante a qual já se estava a aplicar 30% do volume de água dado pela aspersão, contrariamente aos 20% sugeridos pela marca (poupança máxima na ordem dos 80%).

4.2.1 Teor de água ao longo do perfil de solo de cada tratamento

O Gráfico 5 apresenta os valores médios de teor de humidade do solo no tratamento que tem as linhas pareadas instaladas aos 10 cm de profundidade, na semana de 20 a 26 de Julho.

Neste caso, o teor de água mais elevado é registado aos 20 cm de profundidade. Esta situação, por um lado é positiva, já que é precisamente a esta profundidade que se encontram a maior parte das raízes do relvado, no entanto, isto indica que a água ou se movimentou por gravidade, ou devido ao gradiente criado pelo consumo de água pelas raízes do relvado. A média dos sensores instalados aos 50 cm de profundidade é a mais baixa, no entanto, não deixa de identificar água a esta profundidade, o que significa ou que a água de rega chega a esta zona, ou que existe humidade residual a esta profundidade.

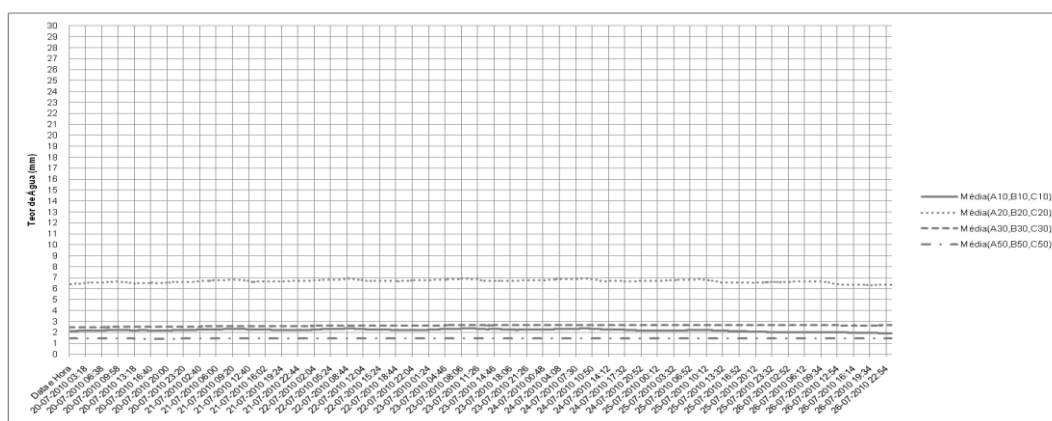


Gráfico 5 – Valores médios dos sensores aos 10, 20, 30 e 50 cm de profundidade para a Linha instalada aos 10 cm de profundidade (Semana de 20 a 26 de Julho)

Aos 10 cm de profundidade temos também teores muito baixos, onde faria sentido que fossem os teores mais elevados, já que é precisamente a essa profundidade que o sistema está a debitar água. No entanto, devido à proximidade com a superfície do solo, poderá ser que aqui o teor de humidade não seja tão alto, porque ao humedecer a superfície do solo, poderá haver perda por evaporação, o que faria baixar os teores de humidade a esta profundidade.

No tratamento que tem a linha pareada instalada aos 20 cm de profundidade (Gráfico 6), os valores do teor de água aos 10 cm são muito semelhantes aos da situação anterior.

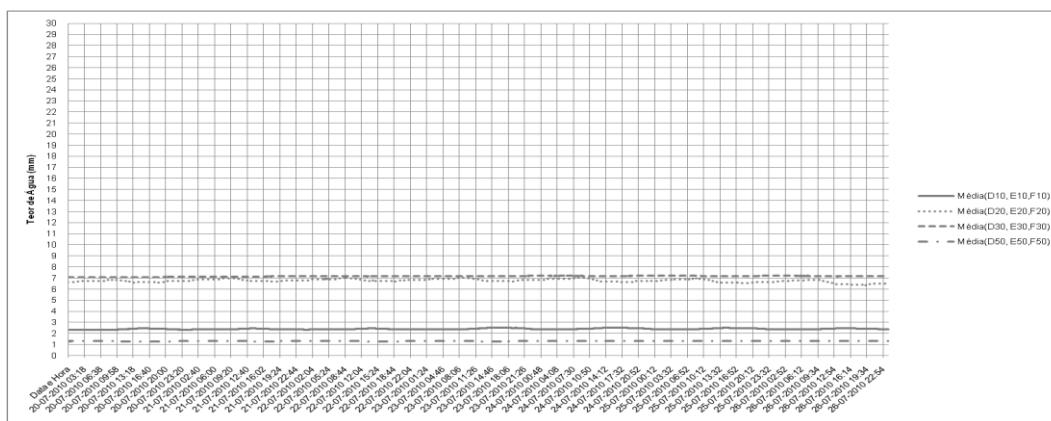


Gráfico 6 – Valores médios dos sensores aos 10, 20, 30 e 50 cm de profundidade para a Linha instalada aos 20 cm de profundidade (Semana de 20 a 26 de Julho)

Neste caso, os teores de água mais elevados encontram-se aos 30 cm de profundidade. No entanto, ao contrário do que se passava aos 10 cm de profundidade, neste caso, a diferença entre o teor de água à profundidade à qual a água está a ser aplicada (20 cm) e a profundidade seguinte (30 cm) é menor que no caso discutido anteriormente. Provavelmente não se perde tanta água pelo facto de esta estar a ser aplicada exactamente onde está a ser consumida com mais intensidade.

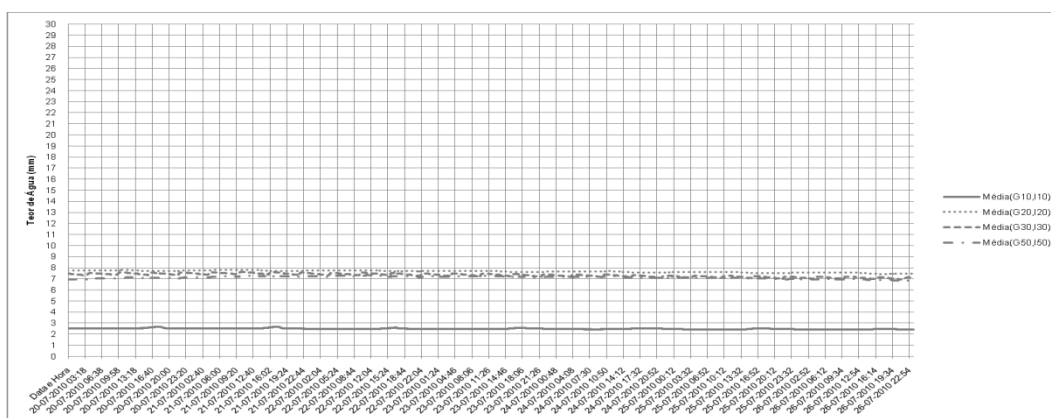


Gráfico 7 – Valores médios dos sensores aos 10, 20, 30 e 50 cm de profundidade para a Linha instalada aos 30 cm de profundidade (Semana de 20 a 26 de Julho)

Na linha instalada aos 30 cm de profundidade (Gráfico 7) inverte-se uma tendência. Neste caso, já temos o teor de água aos 20 cm superior ao teor de água aos 30 cm de profundidade. Isto é sinal de que se verificam movimentos ascensionais da água para a zona onde se dá uma maior extracção radicular. Poderá ainda ser devido ao facto de que aos 30 cm de profundidade o solo já ser o nativo, apresentando propriedades diferentes. Quanto menor o diâmetro dos poros, mais facilmente a água se movimenta por capilaridade. O teor de areia fina no horizonte 0-20 cm é de 12,7% (Tabela 2) enquanto que no solo nativo – abaixo dos 20 cm – é de 60% (Tabela 3).

Comparando este gráfico com o Gráfico 6, não faz sentido que as diferenças no aspecto do relvado sejam tão diferentes entre os tratamentos (ver 4.3).

Finalmente, no Gráfico 8, referente ao talhão da rega por aspersão, observa-se claramente a cadência das regas aos 10 cm de profundidade, bem como aos 20 cm, mas menos acentuadamente. O teor de humidade do solo é bastante semelhante aos 20 e aos 30 cm e temos um teor de água relativamente elevado aos 50 cm de profundidade, o que sugere perdas sensíveis em profundidade.

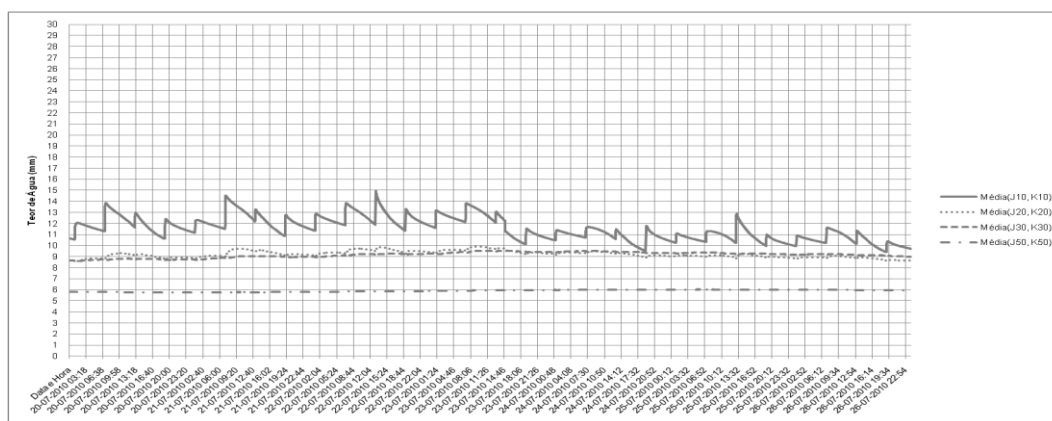


Gráfico 8 – Valores médios dos sensores aos 10, 20, 30 e 50 cm de profundidade para a aspersão (Semana de 20 a 26 de Julho)

Estas perdas ao longo do perfil poderiam ser reduzidas com uma maior quantidade de matéria orgânica ou mesmo material argiloso misturado no substrato arenoso mais superficial, já que estes materiais ajudam a reter a água, minimizando a quantidade perdida. Poderia ainda ser melhor ajustada a gestão da rega, reduzindo-se as dotações, de forma a minimizar as perdas em profundidade.

4.2.2 Comparação do teor de água no solo à mesma profundidade entre diferentes tratamentos do ensaio

Em 4.2.1 já foi feito o cruzamento dos resultados da média dos sensores à mesma profundidade entre tratamentos diferentes do ensaio mas sem o suporte gráfico. No entanto, neste capítulo será dada mais atenção a esta análise, e os gráficos foram construídos de forma a cruzar esta informação directamente.

Aos 10 cm de profundidade (Gráfico 9) os valores do teor de humidade nos diferentes tratamentos do ensaio são muito aproximados, havendo, no entanto, diferenças expressivas para o talhão da aspersão.

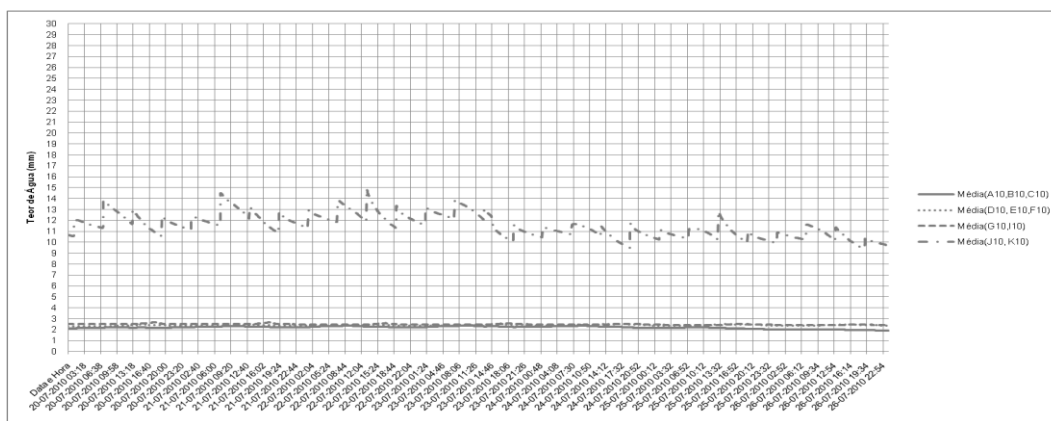


Gráfico 9 – Valores médios dos sensores a 10 cm de profundidade de todos os tratamentos do ensaio, na semana de 20 a 26 de Julho

No Gráfico 10, estão representados os teores de humidade relativos às médias dos sensores instalados aos 20 cm de profundidade dos diferentes tratamentos do ensaio, e neste caso, vê-se que os teores são, mais uma vez, bastante aproximados, à excepção do valor médio correspondente aos sensores instalados no tratamento em que as linhas do sistema se encontram a 30 cm de profundidade, o que sugere que houve ascensão de água dos 30 aos 20 cm. Este é o único tratamento do ensaio em que isto acontece. Talvez porque é precisamente neste tratamento em que o sistema está instalado abaixo da transição do substrato adicionado para o solo nativo, no capítulo anterior (4.2.1) este fenómeno foi explicado.

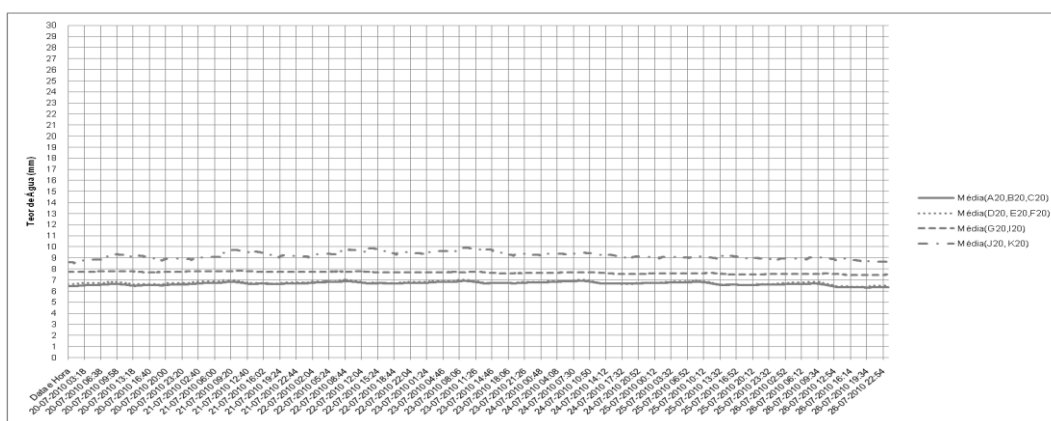


Gráfico 10 – Valores médios dos sensores a 20 cm de profundidade de todos os tratamentos do ensaio, na semana de 20 a 26 de Julho

O Gráfico 11 representa os teores de humidade relativos às médias dos sensores instalados aos 30 cm de profundidade nos diferentes tratamentos do ensaio, no mesmo período de tempo dos gráficos anteriores. É de notar que, no tratamento em que o sistema está instalado aos 10 cm de profundidade, o teor de água aos 30 cm de profundidade é o menor para todos os tratamentos do ensaio, o que sugere a menor perda de água até esta profundidade. Poderá ser também humidade residual.

Já a aspersão, apresenta o maior teor de água registado em todos os tratamentos.

Chama-se a atenção para o facto dos teores médios de humidade dos tratamentos instaladas aos 20 e 30 cm de profundidade apresentarem valores muito próximos. Estes valores contradizem-se um pouco, principalmente cruzando com a análise do Gráfico 10 e com a análise visual do relvado (esta última no capítulo seguinte).

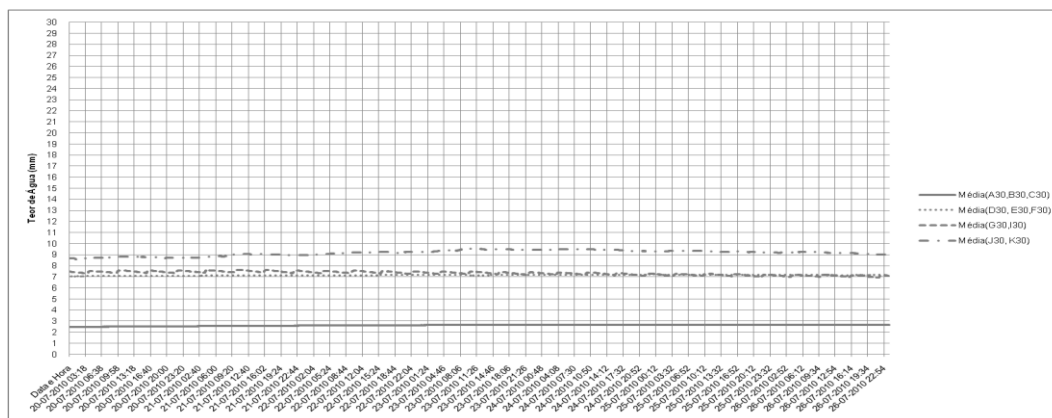


Gráfico 11 – Valores médios dos sensores a 30 cm de profundidade de todos os tratamentos do ensaio, na semana de 20 a 26 de Julho

No Gráfico 12, estão representados os teores de humidade relativos às médias dos sensores instalados aos 50 cm de profundidade. Neste gráfico pode-se ver que o teor de humidade médio aos 50 cm de profundidade do tratamento que tem o sistema instalado aos 30 cm de profundidade e o da aspersão são muito semelhantes ao longo deste período de tempo. Portanto, em ambos os casos, são situações em que temos muita água a perder-se em profundidade, para horizontes onde já não será aproveitada pela cultura em questão. Consiste então, em desperdício que deverá ser reduzido.

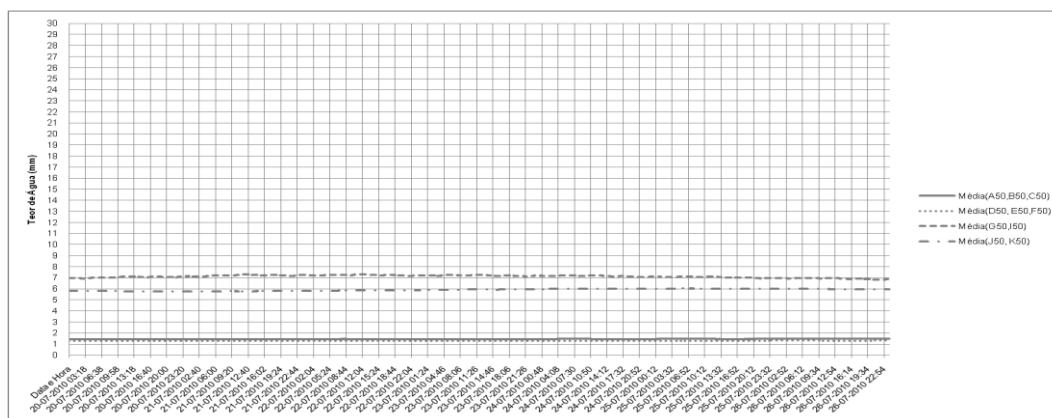


Gráfico 12 – Valores médios dos sensores a 50 cm de profundidade de todos os tratamentos do ensaio, na semana de 20 a 26 de Julho

Estes teores de água são superiores aos registrados nos outros dois tratamentos (linhas instaladas aos 10 e 20 cm de profundidade). No entanto, o teor medido no tratamento instalado aos 10 cm de profundidade é superior ao da linha instalada aos 20 cm de profundidade.

4.3 Aspecto visual do relvado

Tentou-se também definir a dotação mais adequada, comparando com a dotação aplicada com a aspersão. Os fabricantes deste sistema apontam para 80% de poupança de água relativamente à aspersão. Esta hipótese não foi confirmada, já que, com esta quantidade de água, o relvado ressentiu-se bastante. A Figura 25 ilustra o estado do relvado com a dotação correspondente a 70% de poupança de água relativamente ao sistema de aspersão.

Como se pode observar, e comparando com a Figura 21, pode-se constatar que a relva nos tratamentos com o sistema instalado aos 10 e aos 20 cm de profundidade tem o mesmo aspecto visual, acusando falta de água nas entrelinhas. Do lado direito, o tratamento que tem o sistema instalado aos 30 cm de profundidade apresenta claramente sinais mais marcados de défice de água.

No entanto e comparando com o capítulo anterior onde se viu que as sondas indicam teores de humidade muito semelhantes aos 10 cm de profundidade (para os três tratamentos que usam o sistema em estudo), teores de humidade superiores para os 20 cm de profundidade no tratamento que tem o sistema instalado aos 30 cm (relativamente aos tratamentos que têm o sistema instalado aos 10 e 20 cm).



Figura 25 – Vista Geral dos tratamentos do ensaio no dia 23 de Julho de 2010.

A falta de água ao centro das linhas pareadas poderá estar relacionada com as perdas de água em profundidade registadas com este sistema. As dotações fornecidas foram bastante pequenas (ver calendário de rega em Anexo), pelo que o problema poderá ser mesmo a dotação/frequência.

Em análise *à posteriori*, poderá assumir-se que o ensaio deveria ter começado com uma poupança de água mais modesta relativamente à aspersão, e ir ajustando gradualmente com o decorrer do ensaio, em resposta às exigências hídricas resultantes das condições meteorológicas.

O definir de uma dotação tão deficitária para um tipo de relva tão sensível como o utilizado (3.1.2), deveria ter sido tomado em conta.

Quando foi notada esta situação, logo após uma primeira e anormal vaga de calor, já os danos estavam feitos e já não foi possível o relvado recuperar em tempo útil, de forma a poder tirar conclusões relativamente ao aumento de dotação. Com este sistema, lida-se com dotações muito pequenas, pelo que, qualquer alteração poderá resultar num grande efeito.

Como se pode ver pela Figura 25, o grande problema a nível de falta de água foi na entrelinha. Fica por perceber neste ensaio, se o problema foi criado pela situação descrita no parágrafo anterior, ou se eventualmente teria sido devido a um erro de espaçamento. Esta situação poderá ser averiguada em futuros ensaios.

4.4 Gastos de Água

Percebeu-se, pelos resultados obtidos, que serão necessários novos ensaios para melhor determinar quais as dotações mais adequadas e qual o espaçamento mais correcto para o solo em questão. No entanto, há um resultado que não se pode ignorar; como foi dito em 3.2, foi instalado um contador para medir os gastos com o sistema KISSS®. Durante todo o período do ensaio, consumiram-se $0,84 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ com o sistema de aspersão enquanto o sistema KISSS® gastou $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$. No entanto, uma vez que não se obtiveram bons resultados em nenhum dos tratamentos, não se pode concluir nada relativamente a poupanças, já que o estado dos relvados não era o mesmo no final do ensaio. Para além disso, a rega por aspersão não foi bem gerida, já que a água chegou sempre aos 50 cm de profundidade não podendo ser usada como um bom termo de comparação.

Os cálculos para a obtenção destes valores encontram-se no Anexo. Para o sistema KISSS® multiplicou-se o caudal estimado em 3.2 com o tempo total de rega durante o ensaio. Neste caso, os dados podem ser confirmados pelas leituras do contador que se instalou à entrada da rampa que leva a água ao sistema em estudo – a diferença é de apenas $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ (10 l m^{-2}) para a totalidade do período do ensaio.

A evapotranspiração cultural calculada para o período do ensaio (7 de Maio a 26 de Julho de 2010) foi de¹⁵ 154,43 mm. Isto significa que, ao longo do período do ensaio, seria necessário fornecer $0,15 \text{ m}^3$ de água por cada m^2 . Isto levanta a seguinte questão: se foi esse o teor de água aplicado, porque é que o relvado acusou sinais de falta de água? Pode ter sido pelo facto da estação meteorológica que recolheu os dados não ser representativa do local de estudo, facto para o qual já se havia alertado, sendo, portanto, o valor de ET_c calculado inferior ao correspondente à situação em estudo.

¹⁵ Fonte: SNIRH (Consultado a 15-09-2010)

5 Conclusões

O principal objectivo do presente trabalho era o de perceber qual o padrão de distribuição de água no solo às diferentes profundidades de instalação usadas nos distintos tratamentos do ensaio. Isto tinha como finalidade, a definição da profundidade mais adequada para a instalação do sistema em estudo.

Características como o espaçamento adequado em função do tipo de solo também poderiam ser estudadas, introduzindo este tratamento em ensaios futuros.

Como já tinha sido referido anteriormente, este trabalho teve algumas carências a nível de recursos. Para melhor avaliar esta situação seria necessário: um maior número de sondas para monitorizar de forma mais completa os movimentos de água no solo, mais tratamentos para também se avaliar o correcto espaçamento neste tipo de solo particular e repetições de cada um dos tratamentos para validação estatística dos dados.

Pode-se concluir que a instalação do sistema aos 30 cm de profundidade não garante bons resultados, implicando perdas por percolação não desprezáveis. No entanto, foi neste tratamento que se registou o único movimento ascensional de água, muito provavelmente devido ao maior teor de areias finas dos 20 aos 30 cm de profundidade.

A melhor profundidade de instalação parece apontar para os 20 cm. Visualmente, os resultados não diferem dos do tratamento que tem o sistema instalado aos 10 cm de profundidade. No entanto, a instalação aos 20 cm de profundidade permite, mais facilmente qualquer intervenção mecânica que tenha que ser feita no relvado.

Conclui-se que dos três tratamentos em estudo, a melhor opção é a da instalação a 20 cm de profundidade.

Para além disto, apesar de a água estar a ser mal distribuída no solo, o sistema gastou $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ de água ao longo do período do ensaio, e as necessidades da cultura ascenderam aos $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$, de acordo com os dados da estação meteorológica utilizados, que, como foi referido, poderão não ser indicativos da situação em estudo.

Quanto à poupança de água, nada se pode concluir já que os resultados obtidos não permitem fazer essa análise.

6 Referências Bibliográficas e Cibergráficas

- 1) Allen *et al.*, 1998, Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Roma;
- 2) Batista *et al.* 2001, Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água, Versão Preliminar, LNEC;
- 3) Beard, 2002, Turf Management for Golf Courses, Wiley and Sons, Inc., New Jersey;
- 4) Brauer, What is the acceptable widths for fairways?, http://www.cybergolf.com/golf_news/ima_wilde_asks_what_is_the_acceptable_width_for_fairways;
- 5) Câmara do Comércio e Indústria Luso-Espanhola, 2006, Dossier Especializado: Golfe, Promoção a Portugal;
- 6) Camp, 1998, Subsurface Drip Irrigation, A Review, *American Society of Agricultural Engineers*, Vol. 41(5): 1353 – 1367;
- 7) Camp, 2003, Irrigation Systems, Subsurface Drip, *Encyclopedia of Water Science*, Marcel Dekker, New York: 560-564;
- 8) Charbonneau, 1997, OMAF Turfgrass Series;
- 9) Charlesworth, 2003, Crop establishment using subsurface drip irrigation: a comparison of point and area sources; *Irrigation Science* 22: 171-176;
- 10) Charlesworth, 2005, Soil Water Monitoring: an Information Package, Land and Water Australia, 2ª Edição;
- 11) Costa, 1975, Caracterização e Constituição do Solo, Fundação Calouste Gulbenkian;
- 12) DaCosta, 2006, Minimum Water Requirements for Creeping, Colonial and Velvet Bentgrasses under Fairway Conditions, *Crop Science* vol. 46: 81-89;
- 13) DeTar, 2004, Using a subsurface drip irrigation system to measure crop water use, *Irrigation Science* n.23(2):111–122;
- 14) Doorenbos *et al.*, 1984, Guidelines for Predicting Crop Water Requirements, Irrigation and Drainage Paper 24, FAO, Roma;
- 15) Fernández-Gálvez *et al.*, 2006, Monitoring and Modeling the Three-Dimensional Flow of Water Under Drip Irrigation, *Agricultural Water Management* 83: 197-208;
- 16) Horgan *et al.*, 2009, Evaluation of Remote Sensing to Measure Plant Stress in Creeping Bentgrass (*Agrostis stolonifera* L.) Fairways, *Crop Science* 49: 2261-2274;
- 17) <http://ag.arizona.edu/azmet/et1.htm>;
- 18) <http://biologia.c0.pl/viewtopic.php?t=153>;
- 19) <http://georgiagolf.com/content/georgia/golf/highland/courselayout/highland-03.jpg>;
- 20) <http://trec.ifas.ufl.edu/kwm/research/images/Figure4KWM-web.jpg>;

- 21) <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/thatchcn.htm>;
- 22) Irrigation Water Technologies America, Subsurface Capillary Irrigation – Installation Manual;
- 23) Kirkham, 2005, Principles of Soil and Plant Water Relations, Elsevier;
- 24) Krans, (sem data), Subirrigation Research for Golf Greens;
- 25) Lamm, 2002, Advantages and Disadvantages of Subsurface Drip Irrigation, em <http://www.ksre.ksu.edu/sdi/Reports/2002/ADofSDI.pdf>;
- 26) Li et Kawano, 1996, The areal distribution of soil moisture under sprinkler irrigation, *Agricultural Water Management*, Vol.32: 29-36;
- 27) Miranda, 2002, Meteorologia e Ambiente, Guide Artes Gráficas, Lisboa;
- 28) Morgan, 1999, Field Calibration of a capacitance Water Content Probe in Fine Sand Soils, *Soil Science Society American Journal*, Vol.63: 987-989;
- 29) Neelin, 2009, Rainfall in the climate system: changes under global warming, and challenges for climate modelers, Essay for for Math Awareness Month;
- 30) Patel et al, 2009, Effect of subsurface drip irrigation on onion yield, *Irrigation Science* Vol 27: 97-108;
- 31) Peeters, 2004, Wild and sown grasses: profiles of a temperate species selection, ecology, biodiversity and use, FAO;
- 32) Pereira, 2004, Necessidades de Água e Métodos de Rega, Publicações Europa-América;
- 33) Pira, 1997, A Guide to Golf Course Irrigation and Drainage, John Wiley and Sons, Inc., New Jersey;
- 34) Sentek, 1997, EnviroSCAN Hardware Manual, Version 3.0;
- 35) Snirh.pt;
- 36) Solomon, 1994, Subsurface Drip Irrigation, CATI Publication #941003;
- 37) Starr et al; 1998; Real-time soil water dynamics over large areas using multisensory capacitance probes and monitoring system; *Soil and Tillage Research* 47: 43-49;
- 38) Taiz et al, 2004. Fisiologia Vegetal, trad. Eliane Romanato Santarém... [et al] – 3ª Edição – Porto Alegre: Artmed;
- 39) Trenberth, 1999, Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change, *Climatic change* 42: 327-339;
- 40) von Storch, 1993, Downscaling of Global Climate Changes Estimates to Regional Scales: An Application to Iberian Rainfall in Wintertime; *Journal of Climate* 6: 1161:1171;
- 41) www.cybergolf.com;
- 42) www.kisssusa.com;

7 ANEXOS

Cálculos feitos para equiparar a rega dos talhões com áreas diferentes:

O caudal debitado pelos aspersores:

$$4 \times 29,39 \text{ l min}^{-1} = 117,56 \text{ l min}^{-1}$$

Pode ser reportado a uma unidade de área, dividindo pela área $11,15\text{m} \times 13,20\text{m} = 147,18\text{m}^2$ no qual é aplicado:

$$\frac{117,56 \text{ l min}^{-1}}{147,18\text{m}^2} = 0,799 \text{ l min}^{-1}\text{m}^{-2}$$

Tendo o mesmo raciocínio para o sistema em estudo, podemos saber qual o caudal aplicado por unidade de área:

$$\frac{2,14\text{l min}^{-1}}{20,7\text{m}^2} = 0,103 \text{ l min}^{-1}\text{m}^{-2}$$

Se ambos os sistemas regassem o mesmo tempo por dia, o sistema KISSS® aplicaria apenas 12,89% da água relativamente à aspersão. O que se pretende é que o sistema aplique 20% da água gasta com a aspersão, o que significaria uma poupança de 80% relativamente ao sistema de controlo, que é o que o sistema em estudo assume fazer.

Então, chegou-se à conclusão que para cada minuto de rega com a aspersão, o sistema KISSS teria que funcionar 1,55 minutos (1min 33s). Como se pode ver:

$$\frac{0,103 \times x}{0,799} = 20\% \Leftrightarrow x = 1,55$$

Com o decorrer do ensaio, ficou claro que os 20% de água relativamente à aspersão não seriam suficientes para cobrir as necessidades da relva. Aumentou-se então a dotação com o sistema KISSS para 30% da água dada com a aspersão:

$$\frac{0,103 \times x}{0,799} = 30\% \Leftrightarrow x = 2,3$$

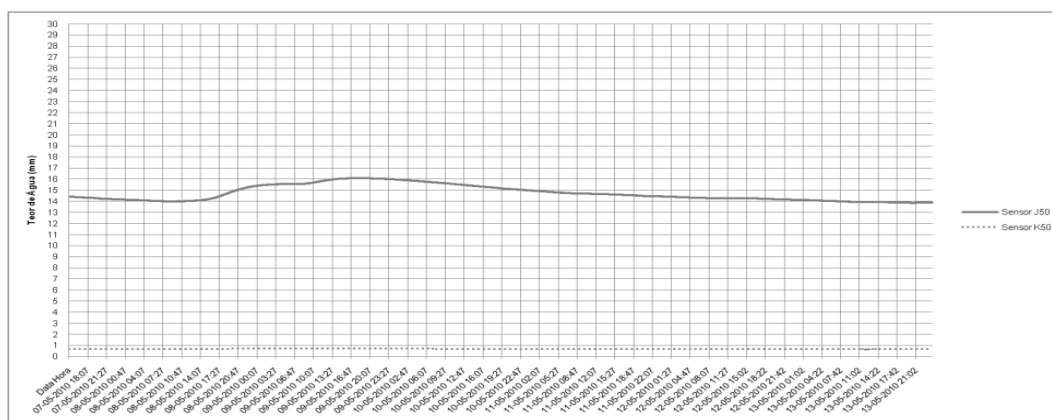
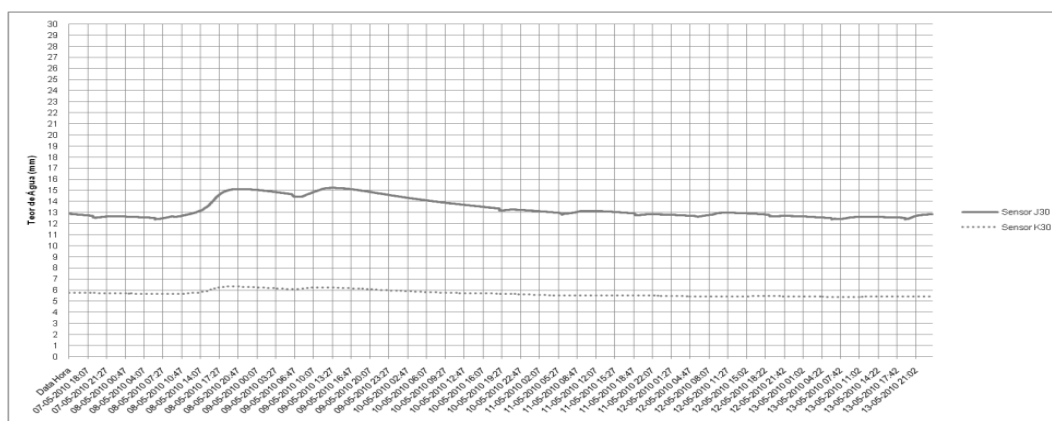
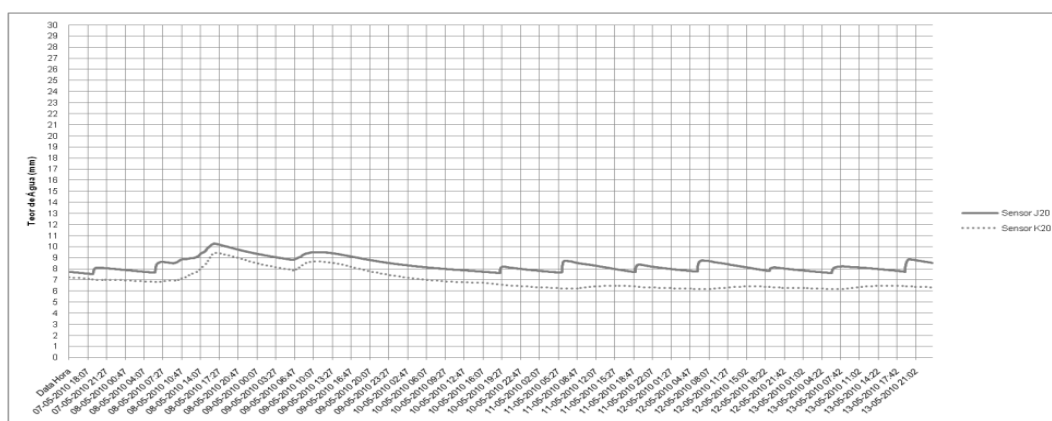
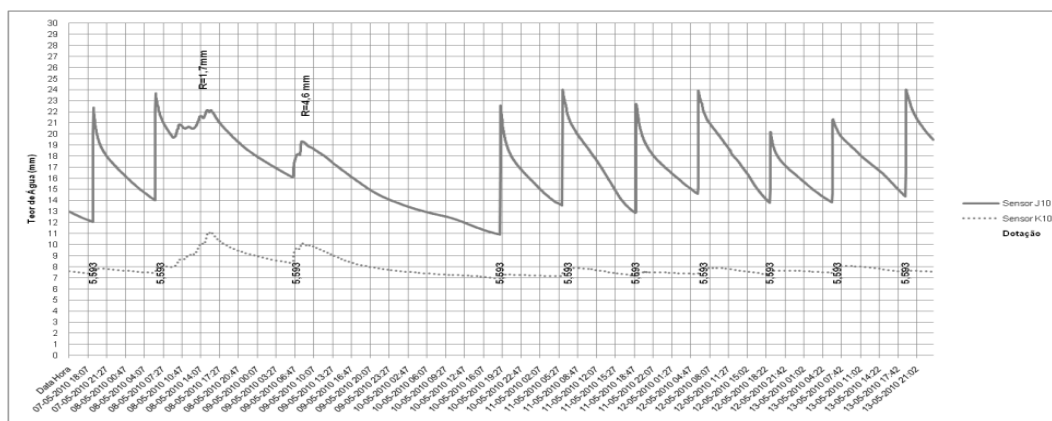
Portanto, por cada minuto de rega com a aspersão, o sistema KISSS irá regar 2,3 (2min 20s).

Data Hora	Aspersão		Sistema KISSS	
	Tempo	L m ⁻²	Tempo	L m ⁻²
07-05-2010 07:00	7	5,59	5	0,52
7-05-2010 13:00			6	0,62
07-05-2010 19:00	7	5,59	5	0,52
08-05-2010 07:00	7	5,59	5	0,52
08-05-2010 13:00				
08-05-2010 19:00				
09-05-2010 07:00	7	5,59	5	0,52
09-05-2010 13:00				
09-05-2010 19:00				
10-05-2010 07:00				
10-05-2010 13:00				
10-05-2010 19:00	7	5,59	5	0,52
11-05-2010 07:00	7	5,59	5	0,52
11-05-2010 13:00			6	0,62
11-05-2010 19:00	7	5,59	5	0,52
12-05-2010 07:00	7	5,59	5	0,52
12-05-2010 13:00			6	0,62
12-05-2010 19:00	7	5,59	5	0,52
Mantêm-se as frequências e dotações até aqui:				
22-06-2010 07:00	3	2,40	4	0,41
22-06-2010 13:00	5	4,00	6	0,62
22-06-2010 19:00	3	2,40	4	0,41
Mantêm-se as frequências e dotações até aqui:				
30-06-2010 07:00	3	2,40	5	0,52
30-06-2010 13:00	6	4,79	8	0,82
30-06-2010 19:00	3	2,40	5	0,52
Mantêm-se as frequências e dotações até aqui:				
16-07-2010 01:00	3	2,40	6	0,62
16-07-2010 07:00	3	2,40	7	0,72
16-07-2010 13:00	3	2,40	6	0,62
16-07-2010 19:00	3	2,40	7	0,72
Estas dotações e frequências mantêm-se até ao final do ensaio a 26 de Julho de 2010				
Total (L m ²)		843,74		146,47
Total (m ³ m ⁻²)		0,84		0,15

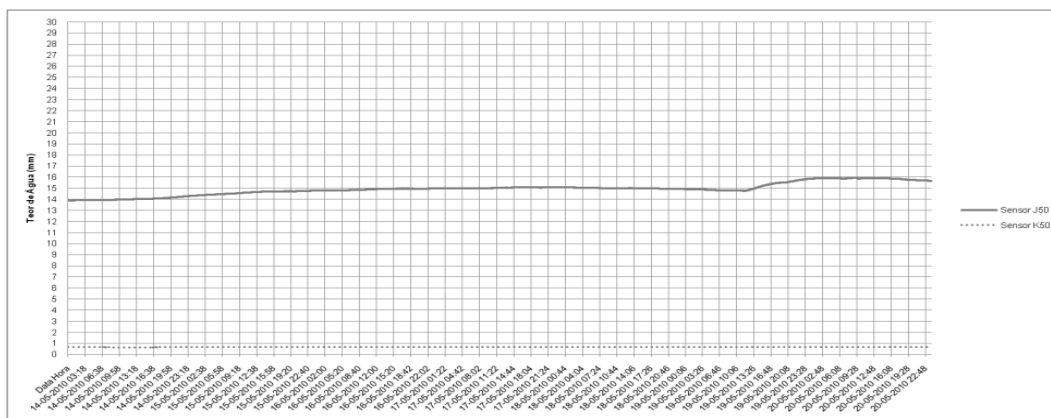
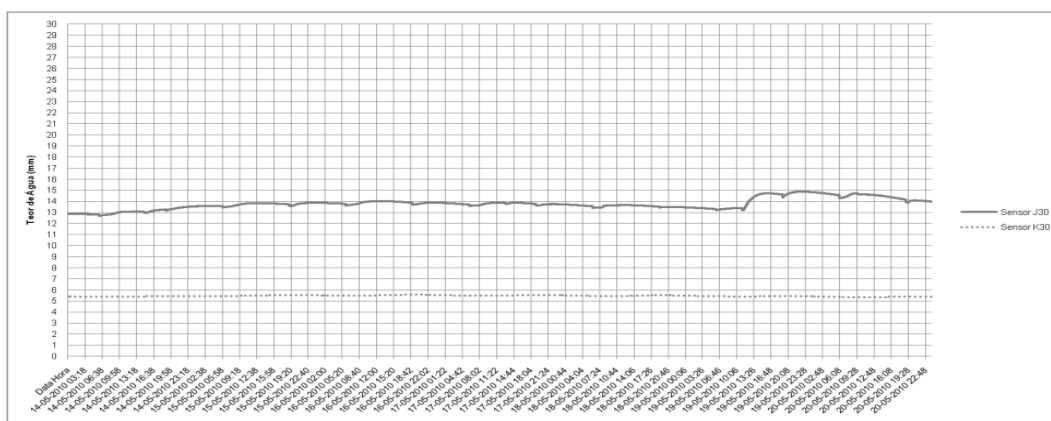
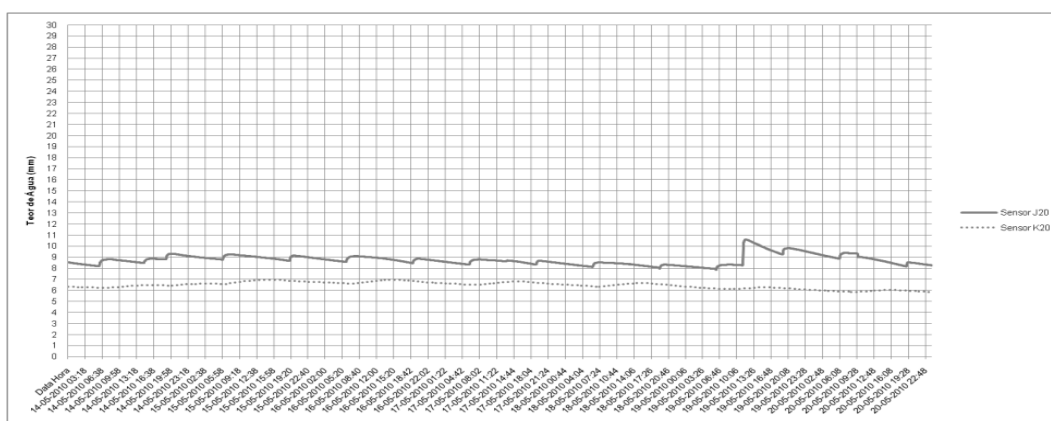
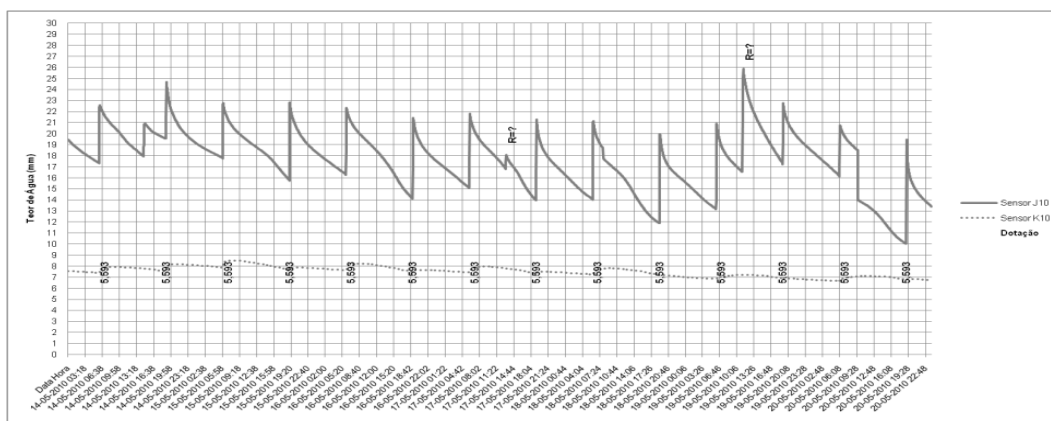
Os valores das dotações encontram-se em L m⁻² e são os mesmos obtidos na página anterior. No final, para obter o total, foram somadas todas as dotações aplicadas ao longo do ensaio com ambos os sistemas. Esse valor total foi dividido por 1000 para obter a conversão de litros para m³.

O valor da evapotranspiração foi calculado usando o programa de cálculo da Evapotranspiração integrado no software ISAREG v 3.1 usando as variáveis climáticas da estação descrita anteriormente.

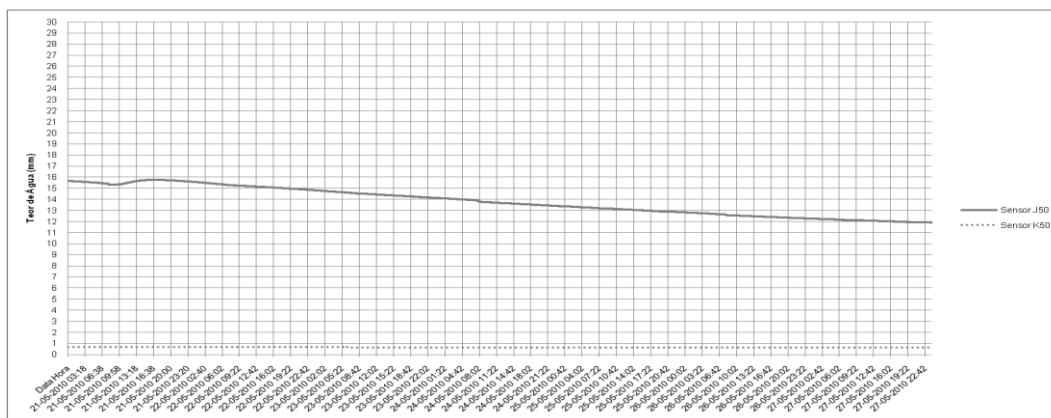
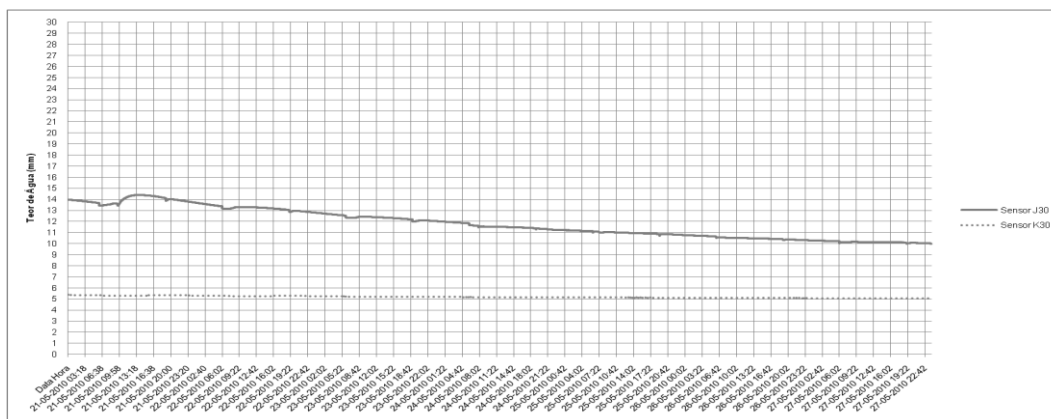
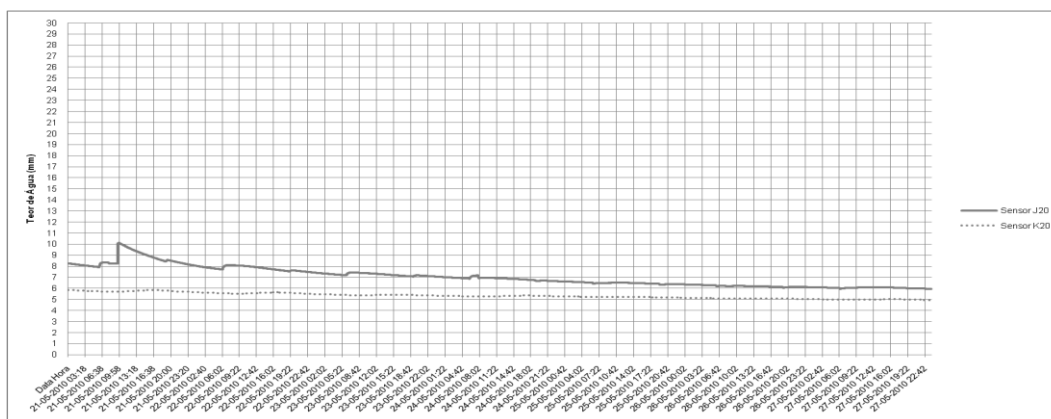
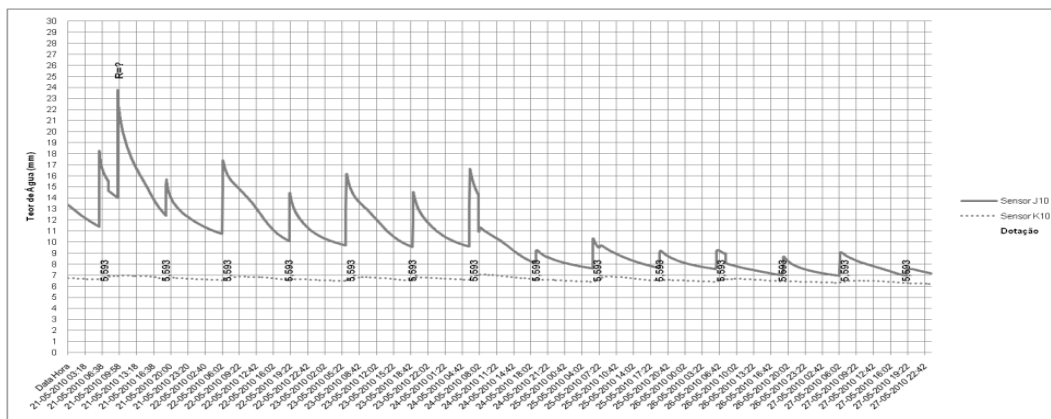
Dados relativos aos sensores relativos ao tratamento aspersão (controlo) no período de 7 a 13 de Maio de 2010

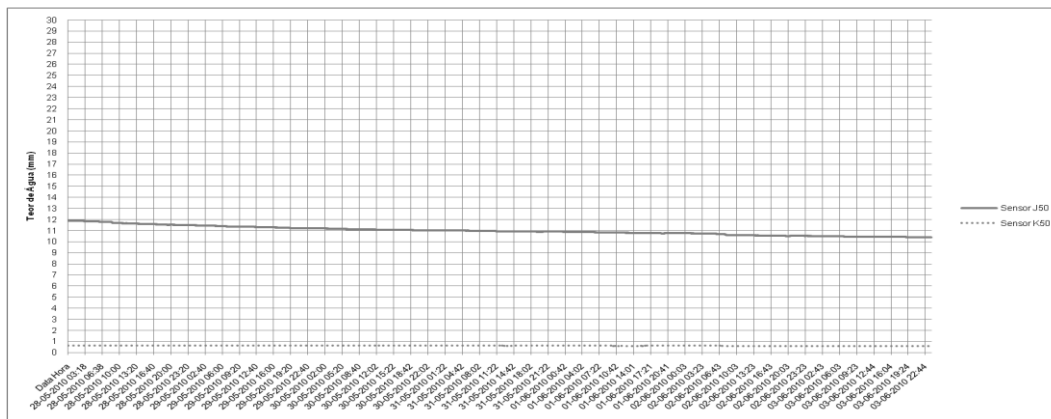
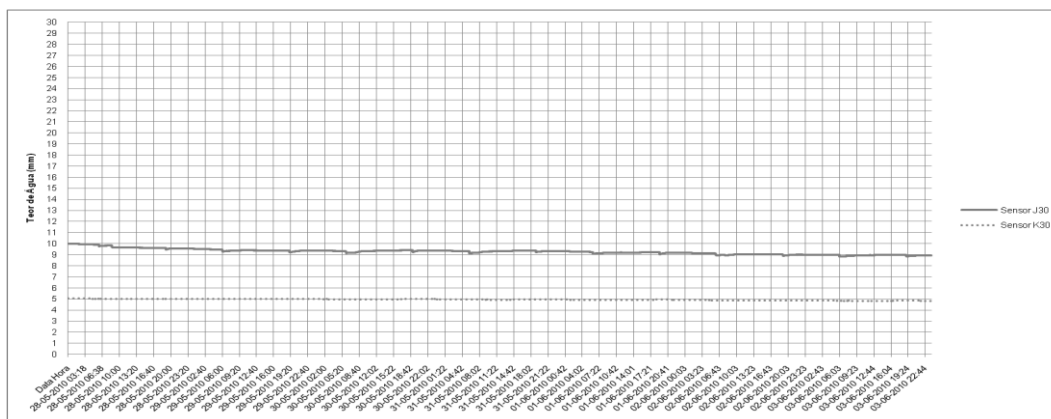
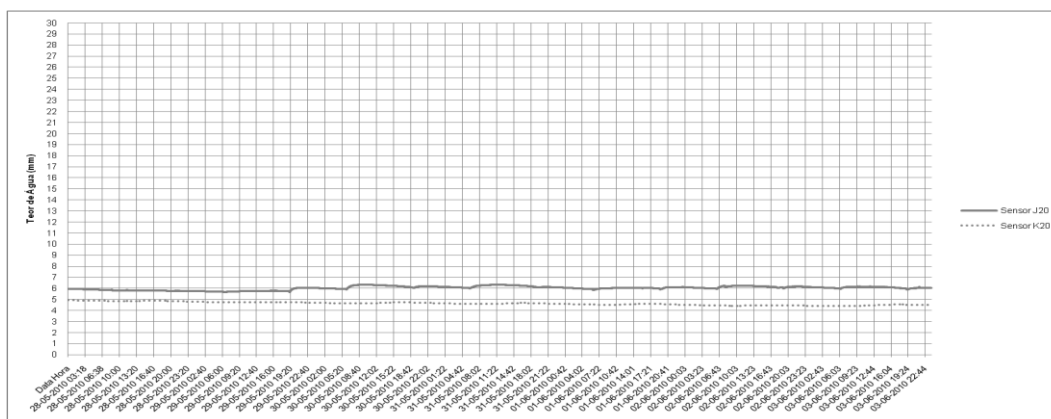
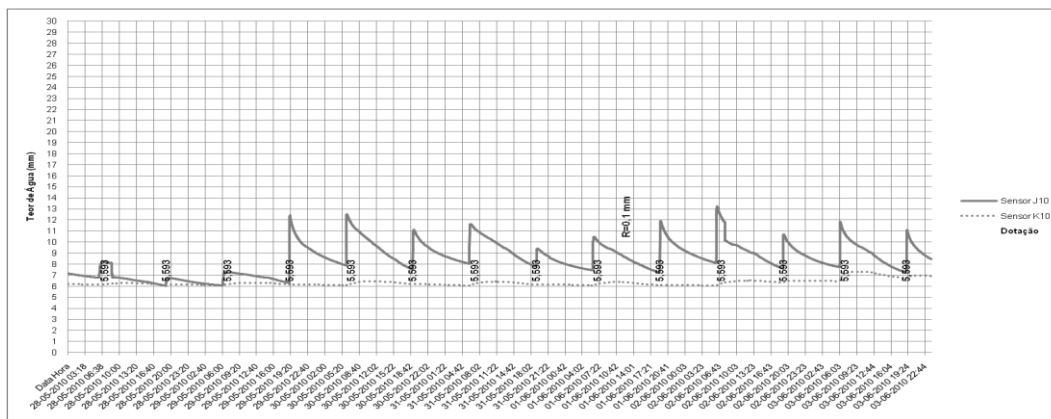


Dados relativos aos sensores relativos ao tratamento aspersão (controle) no período de 14 a 20 de Maio de 2010

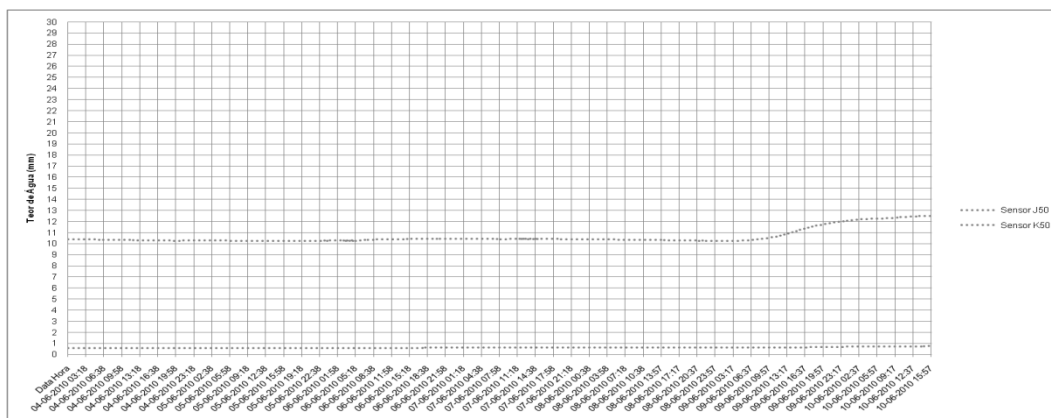
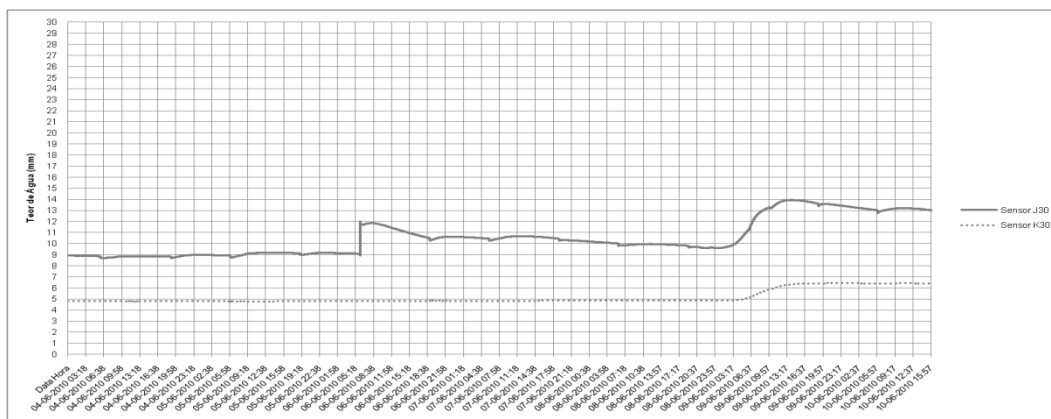
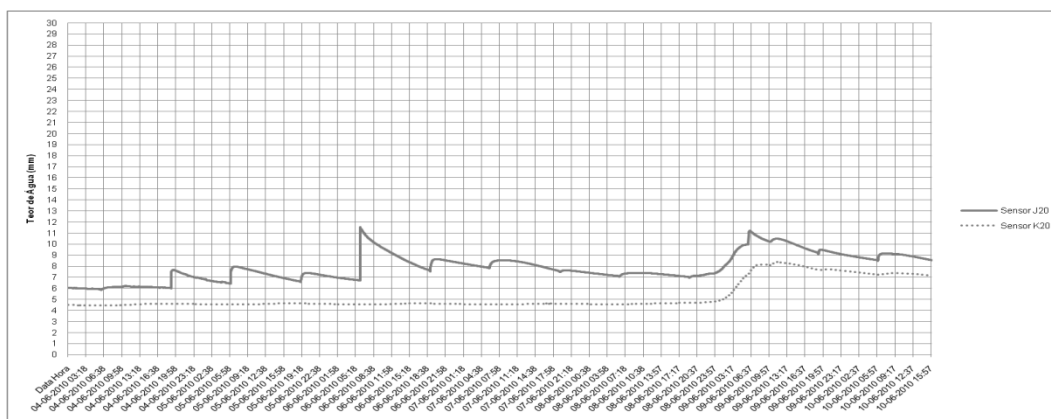
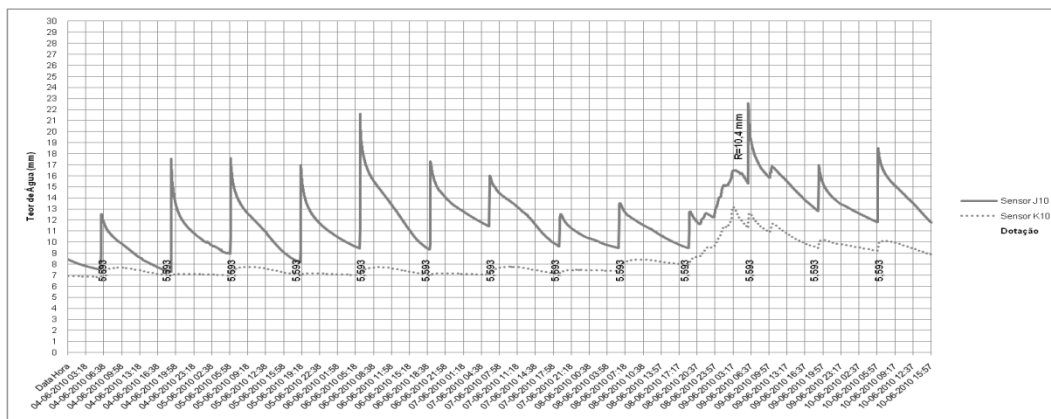


Dados relativos aos sensores relativos ao tratamento aspersão (controle) no período de 21 a 27 de Maio de 2010

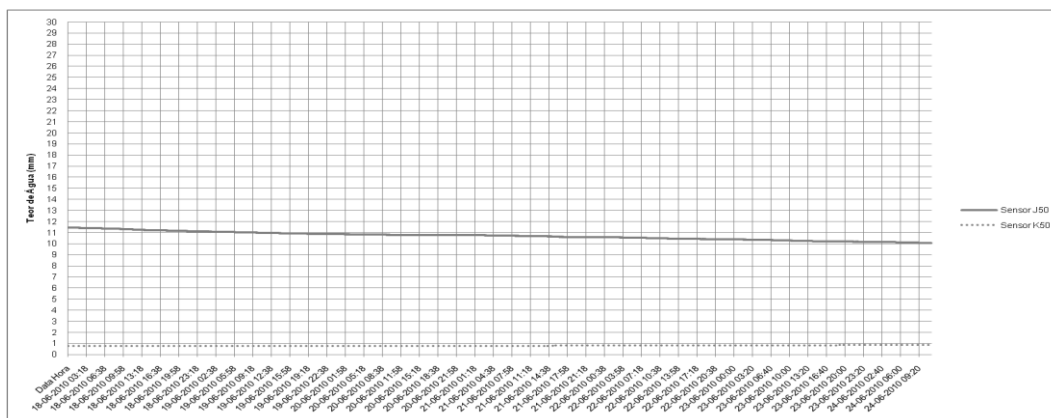
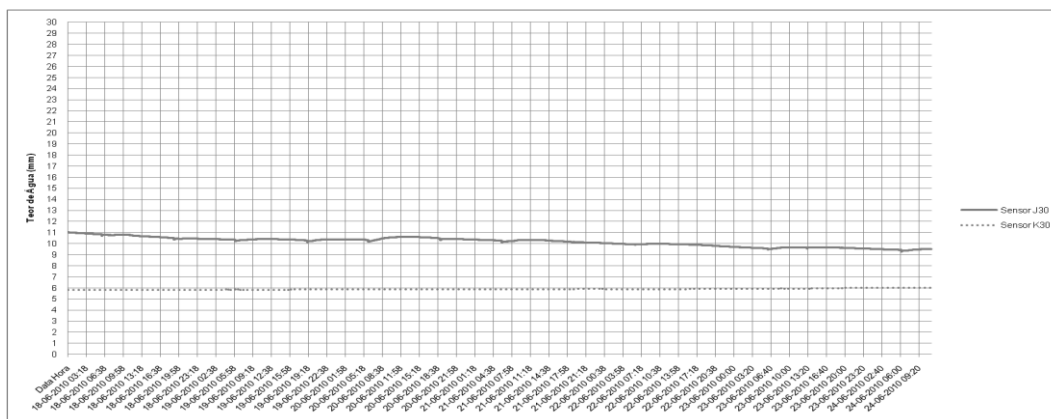
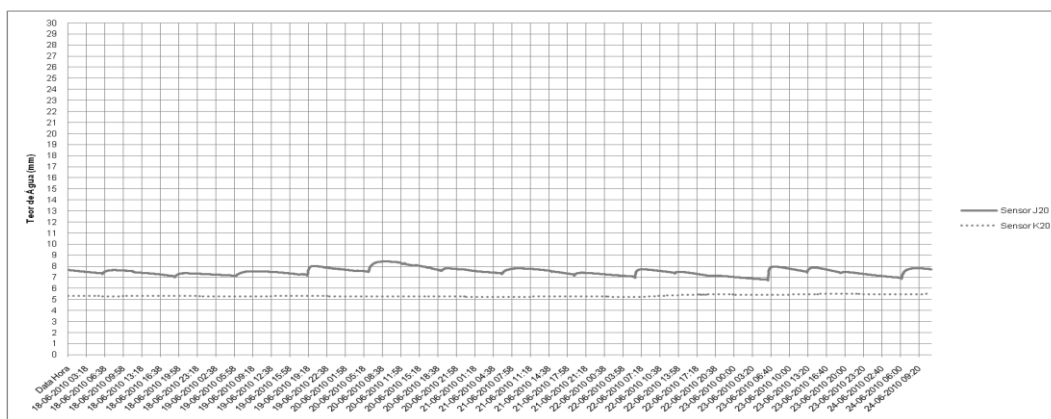
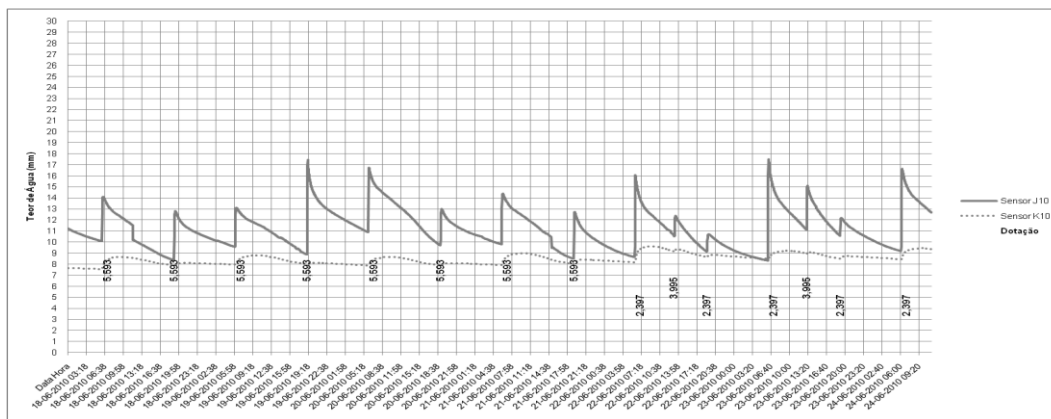




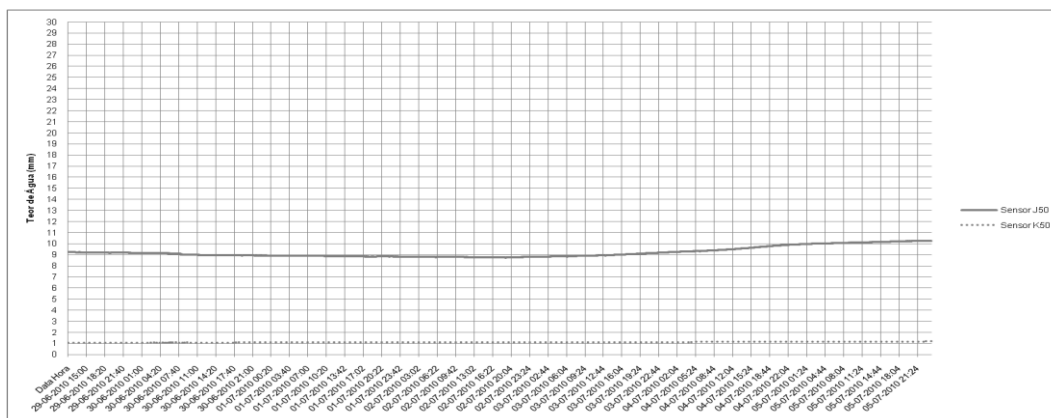
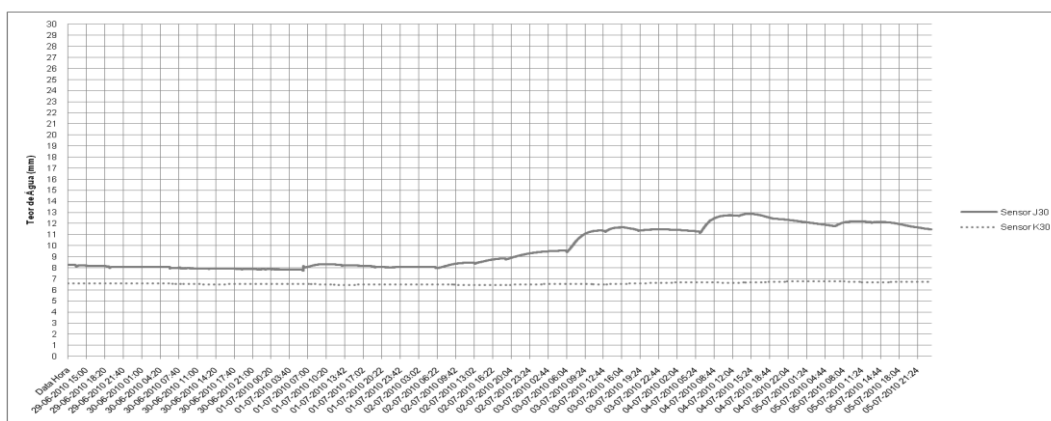
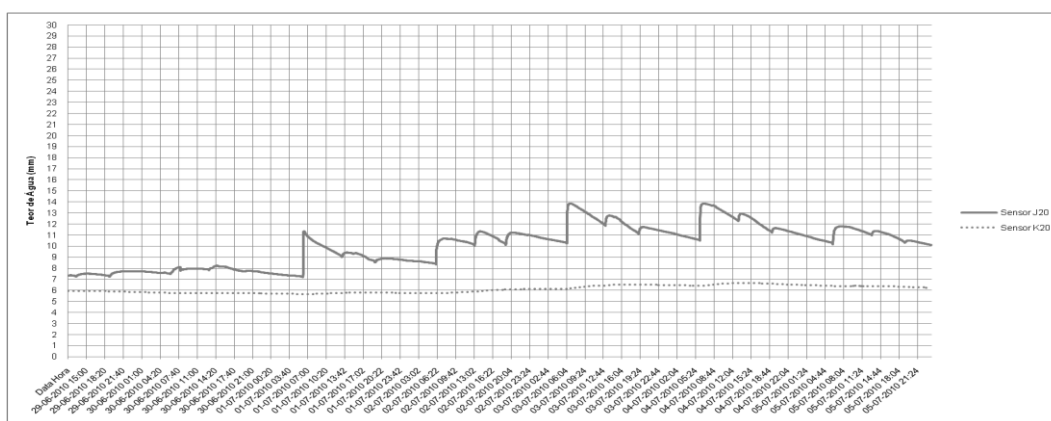
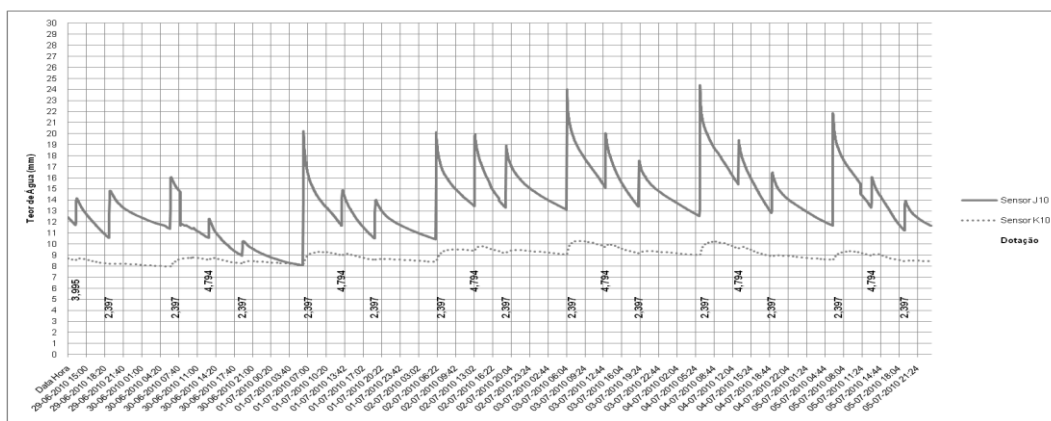
Dados relativos aos sensores relativos ao tratamento aspersão (controlo) no período de 4 a 10 de Junho de 2010



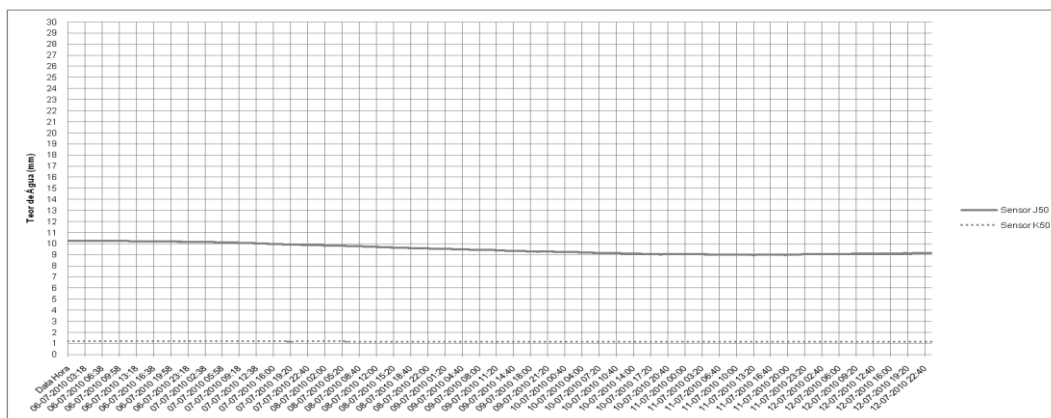
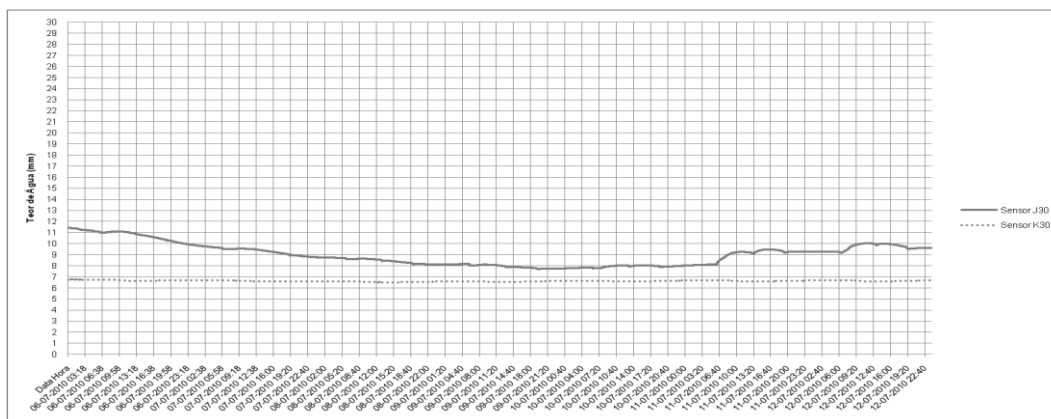
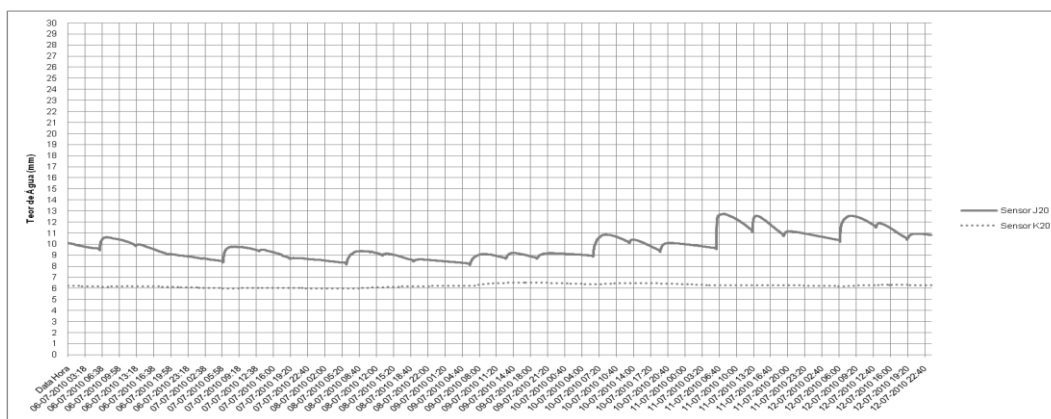
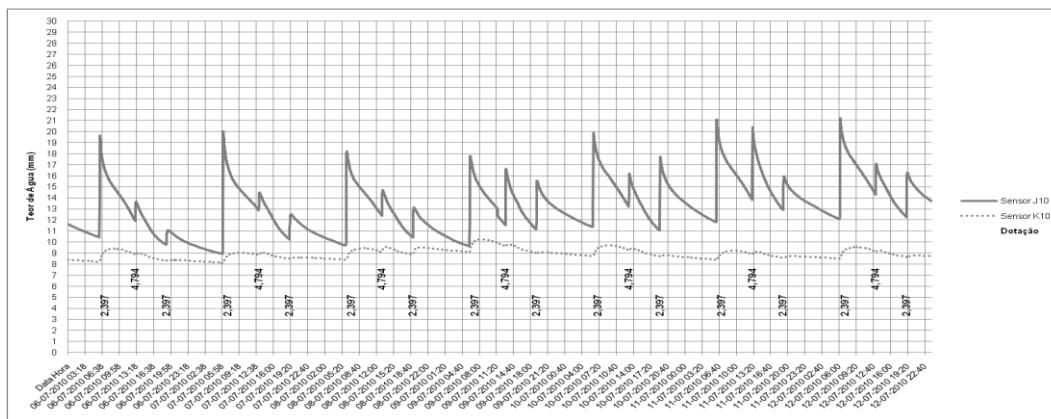
Dados relativos aos sensores relativos ao tratamento aspersão (controlo) no período de 18 a 24 de Junho de 2010



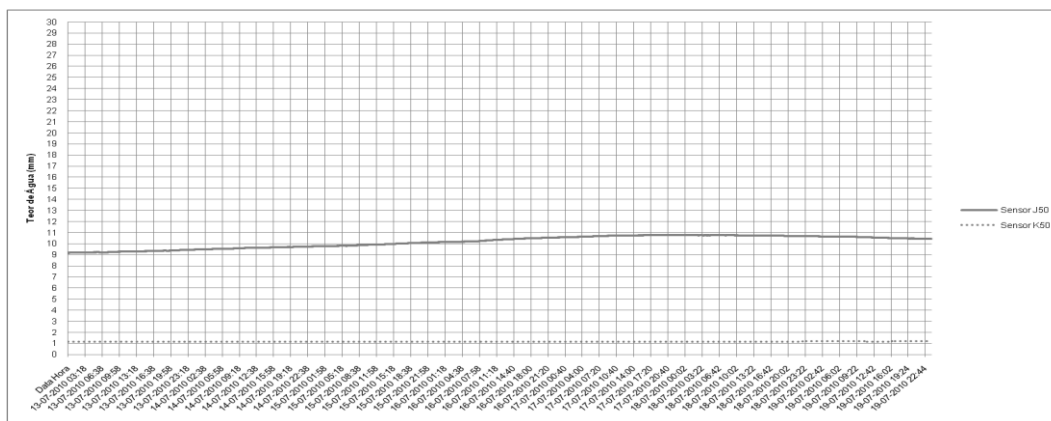
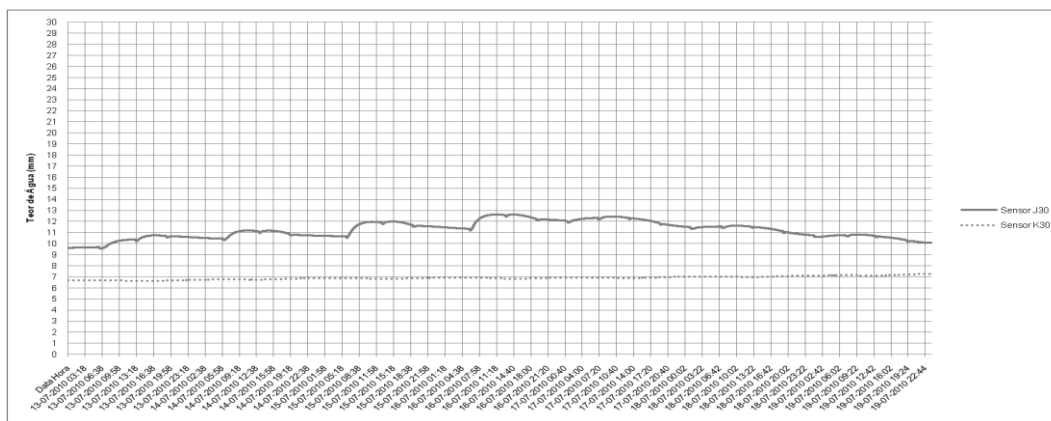
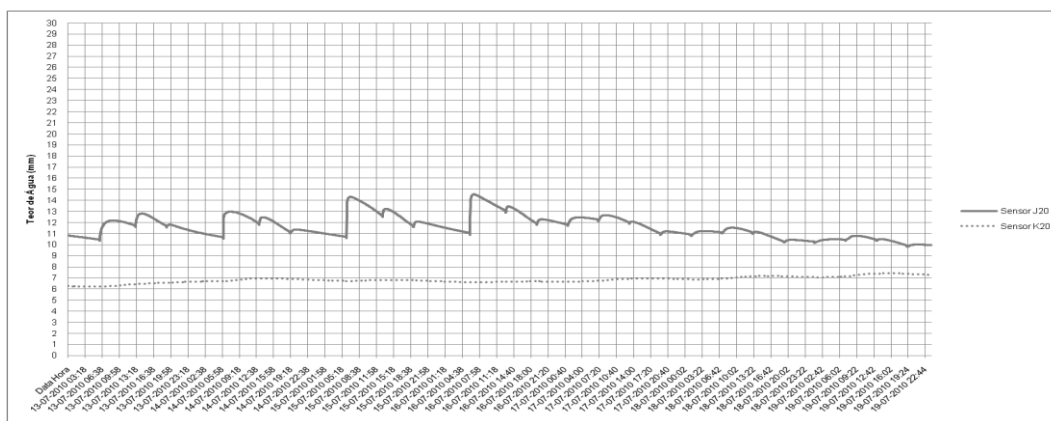
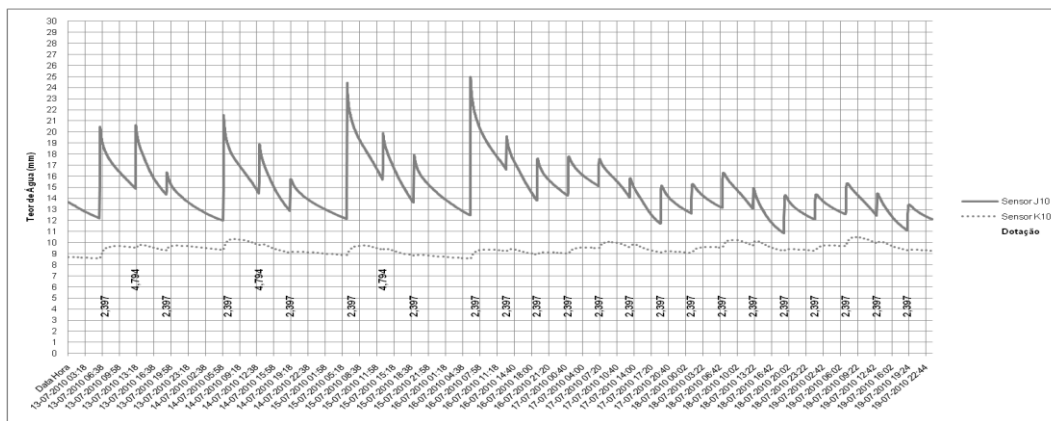
Dados relativos aos sensores relativos ao tratamento aspersão (controlo) no período de 29 de Junho a 5 de Julho de 2010

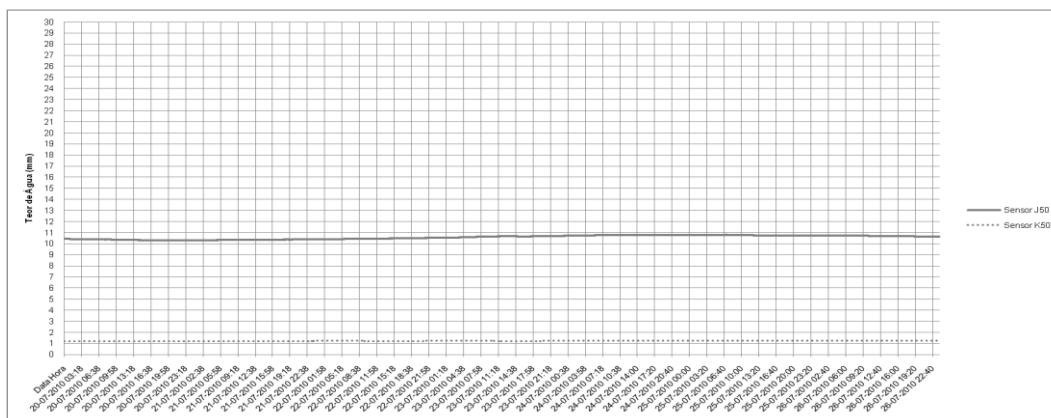
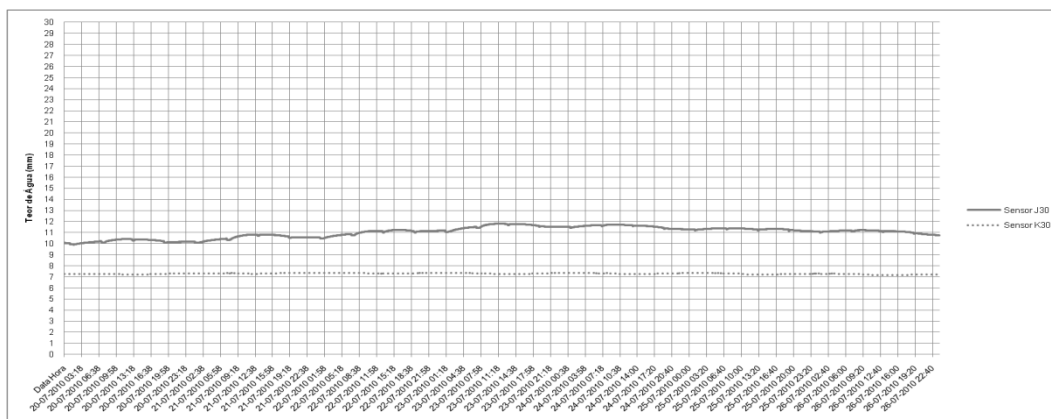
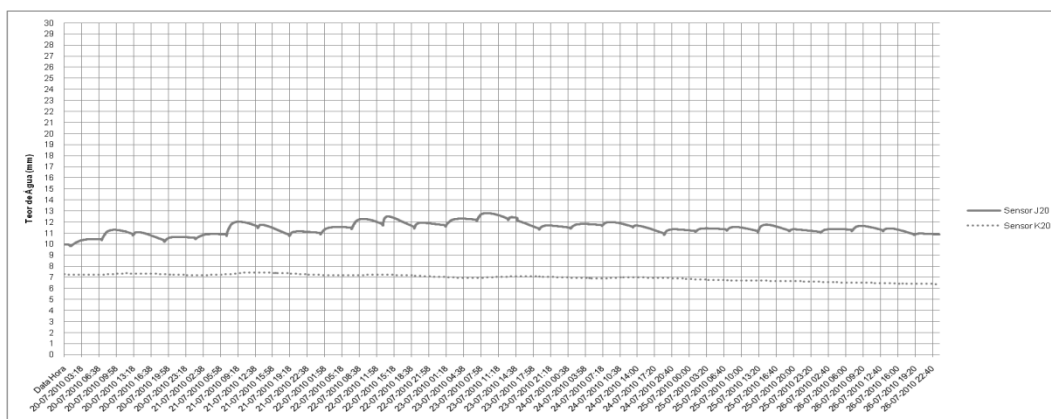
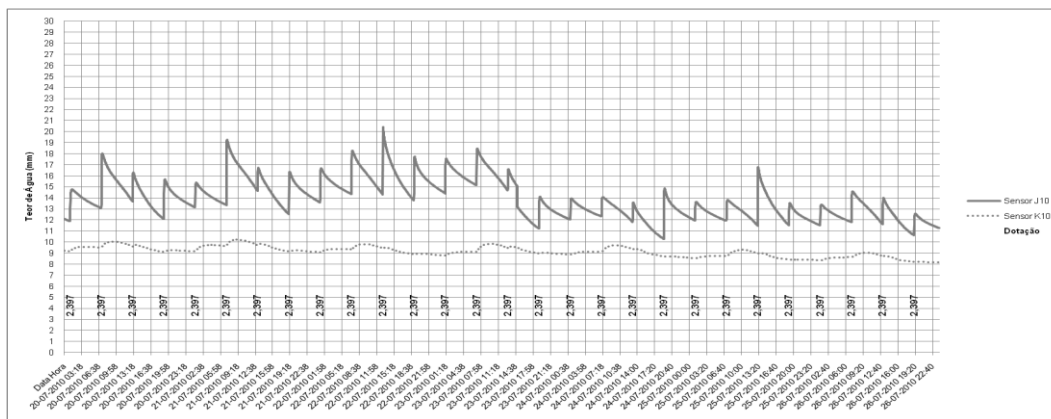


Dados relativos aos sensores relativos ao tratamento aspersão (controle) no período de 6 a 12 de Julho de 2010

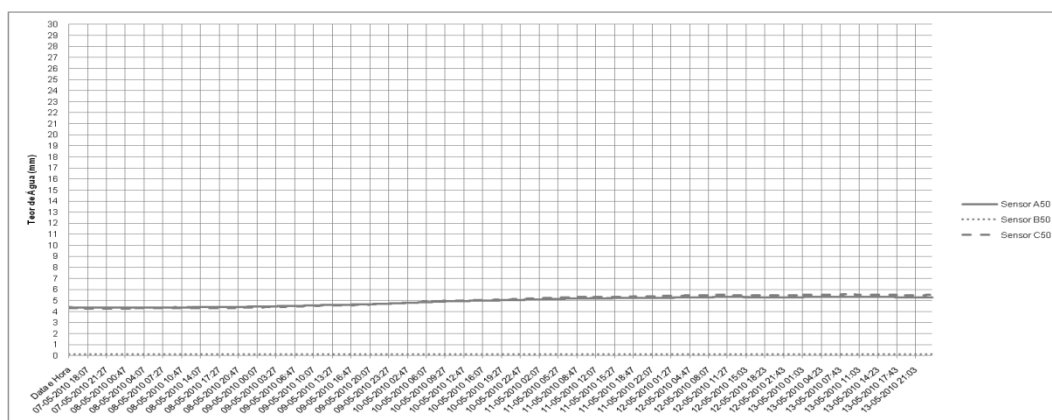
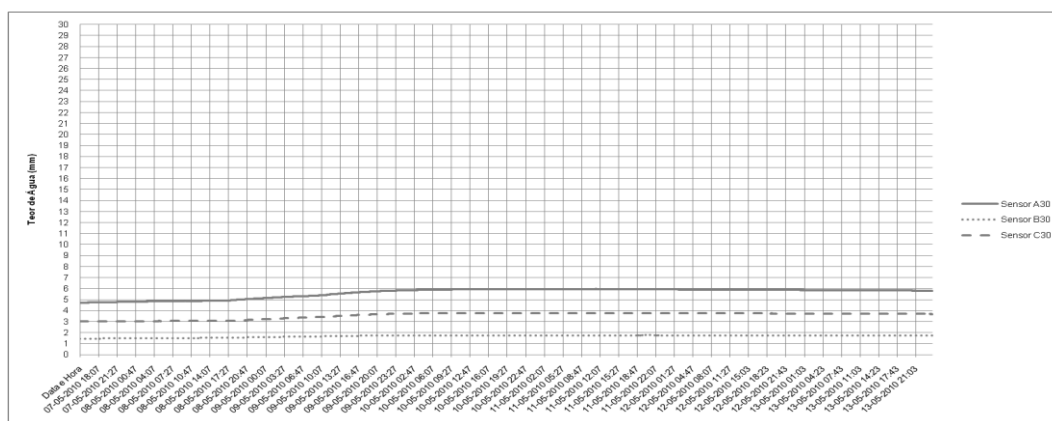
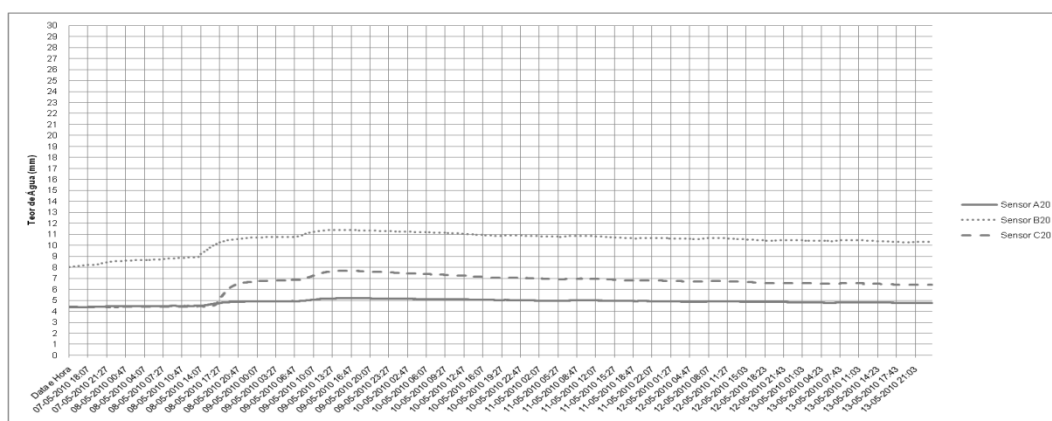
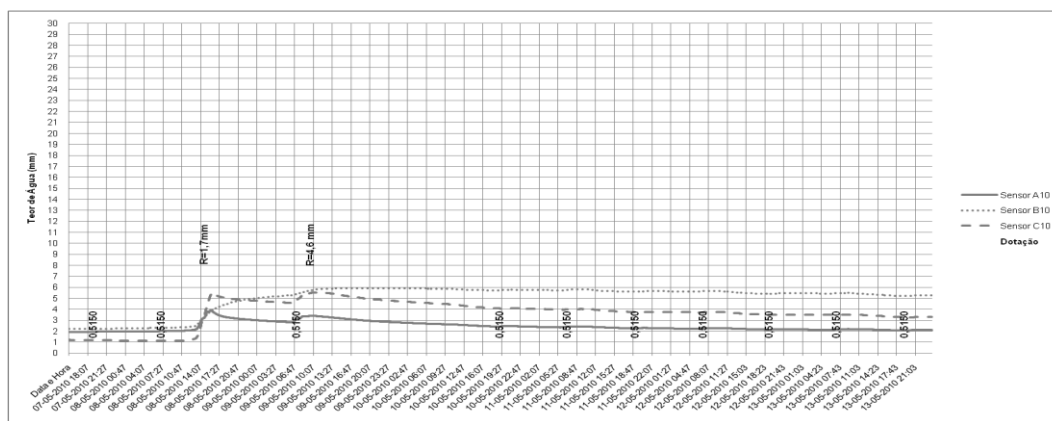


Dados relativos aos sensores relativos ao tratamento aspersão (controlo) no período de 13 a 19 de Julho de 2010

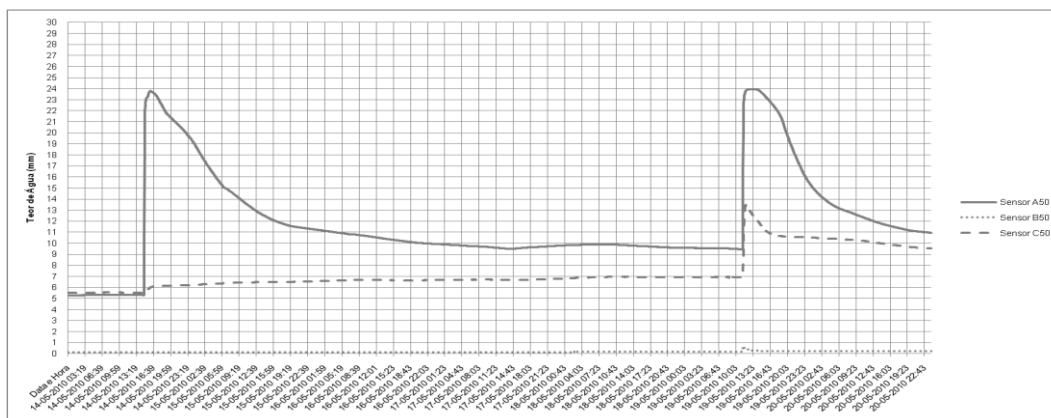
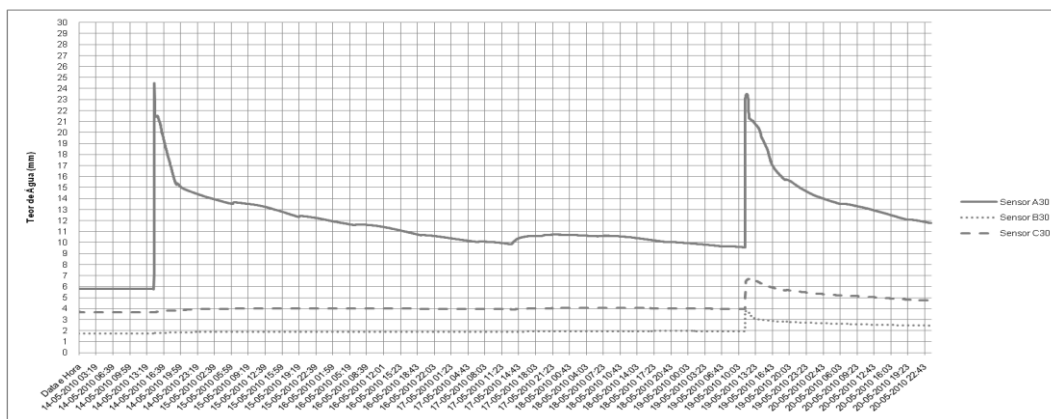
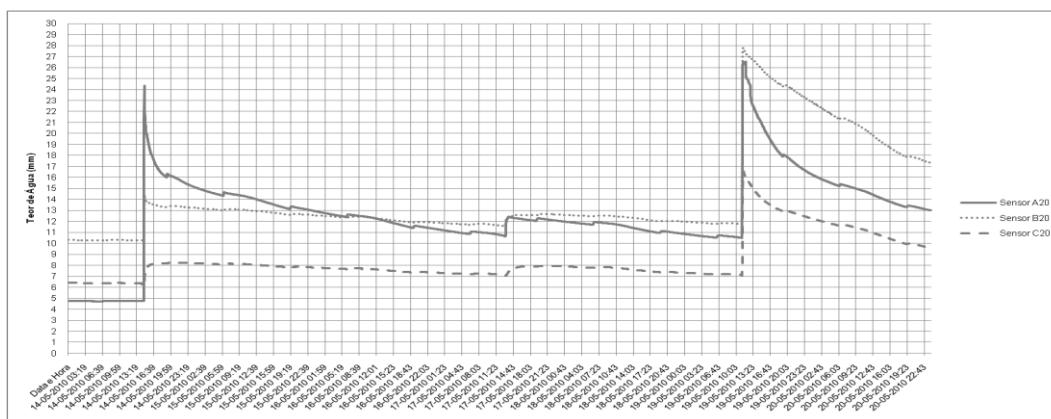
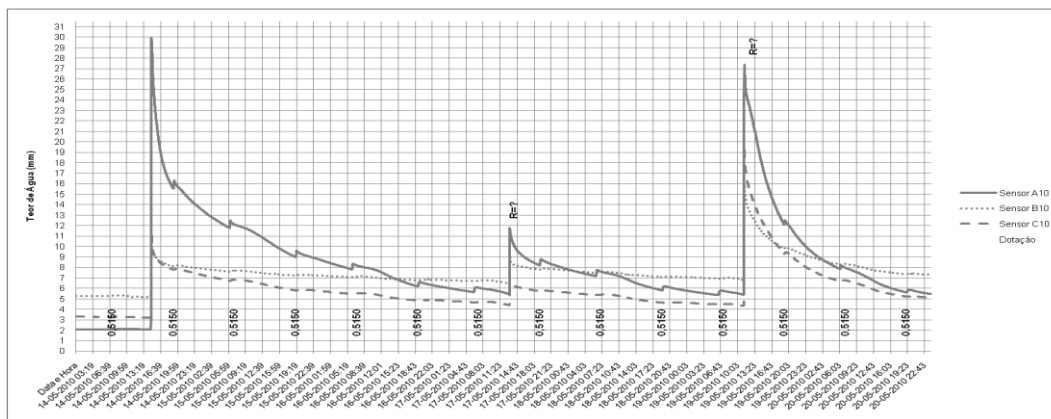




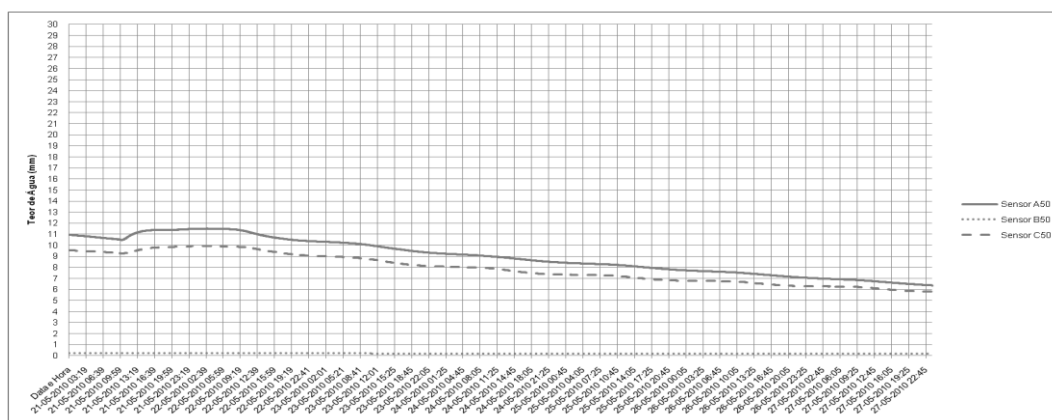
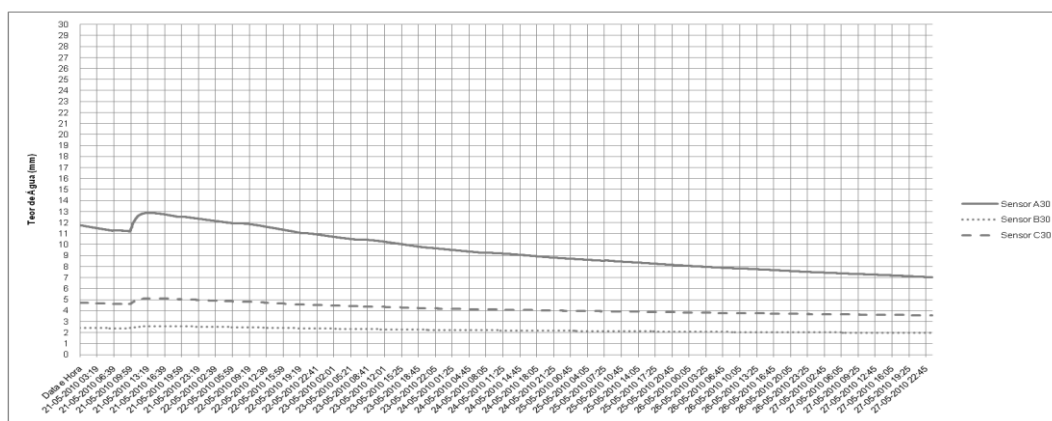
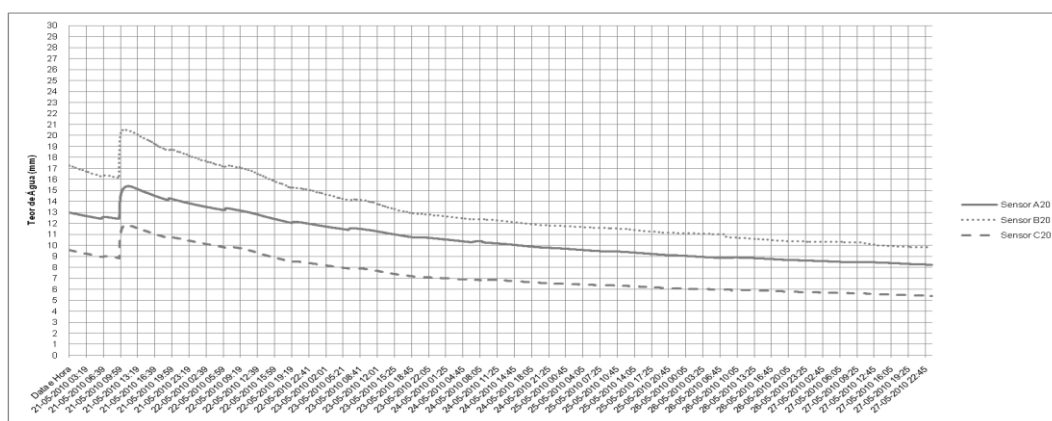
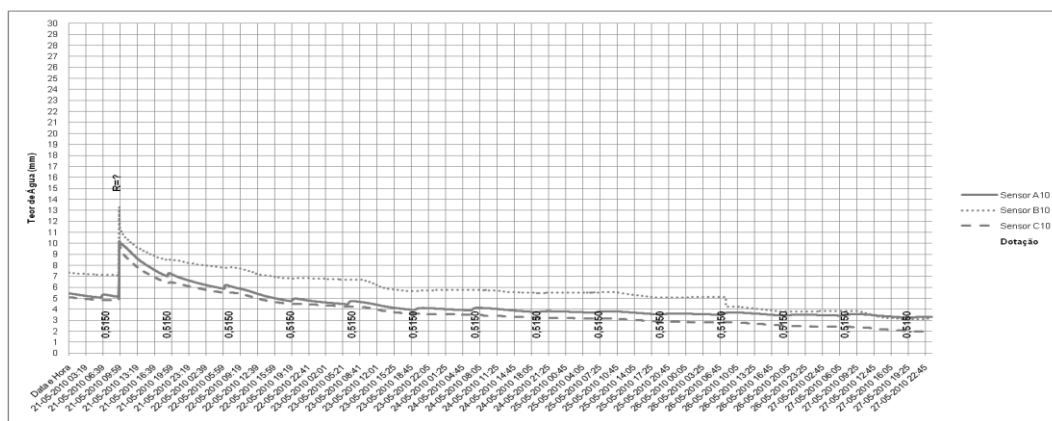
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 10cm de profundidade no período de 7 a 13 de Maio de 2010



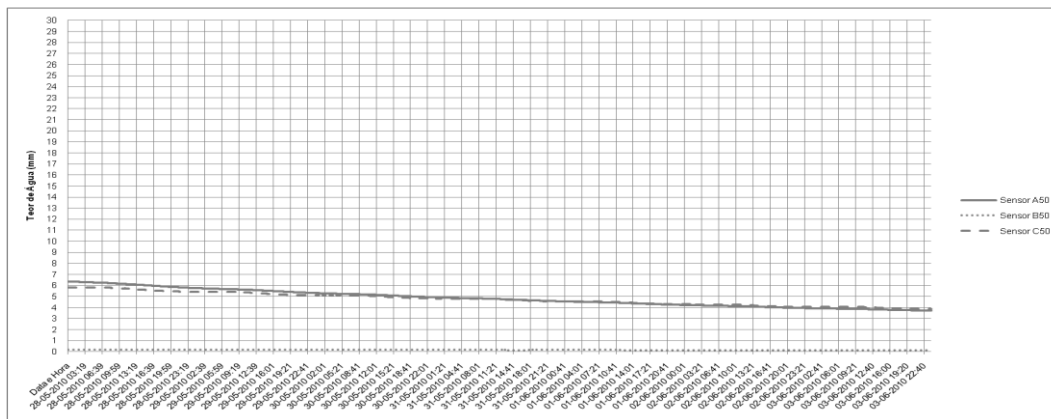
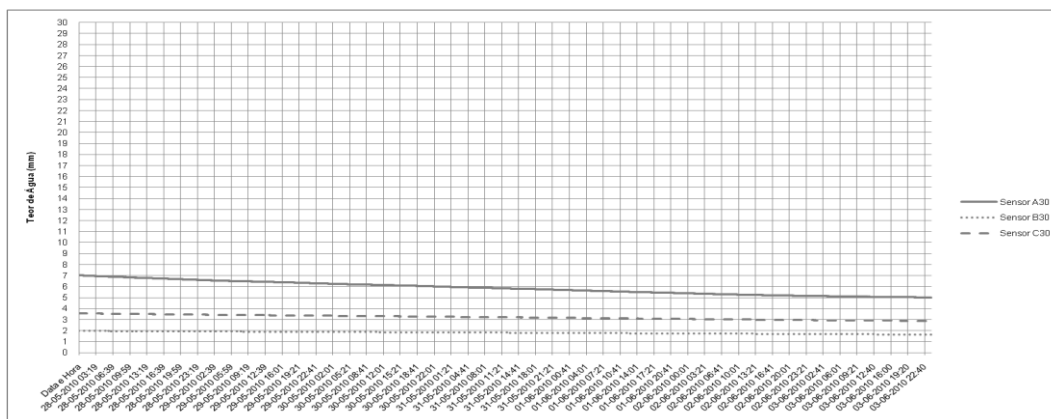
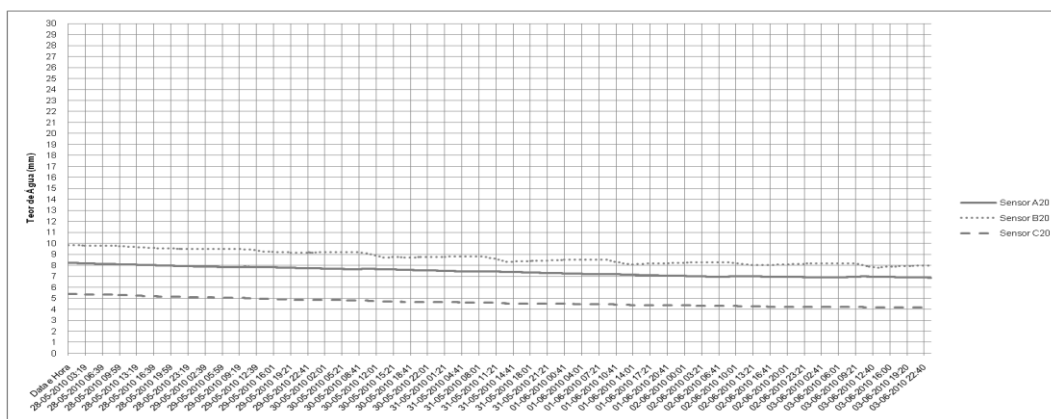
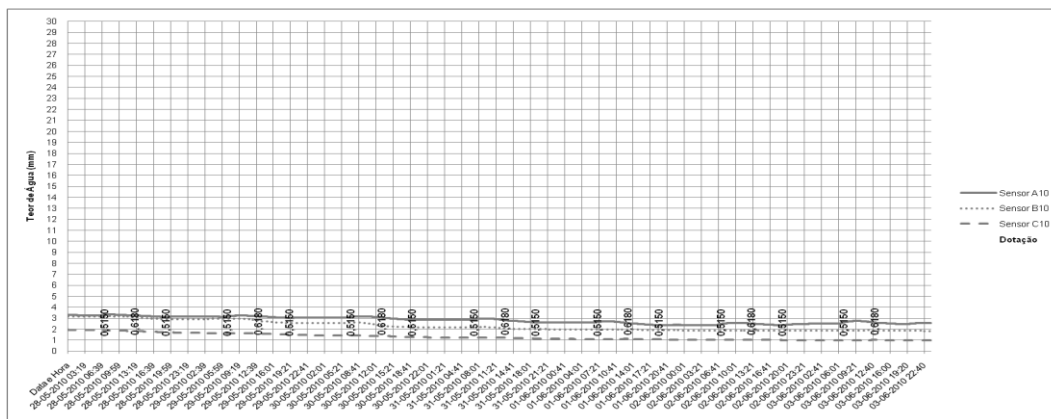
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 10cm de profundidade no período de 14 a 20 de Maio de 2010



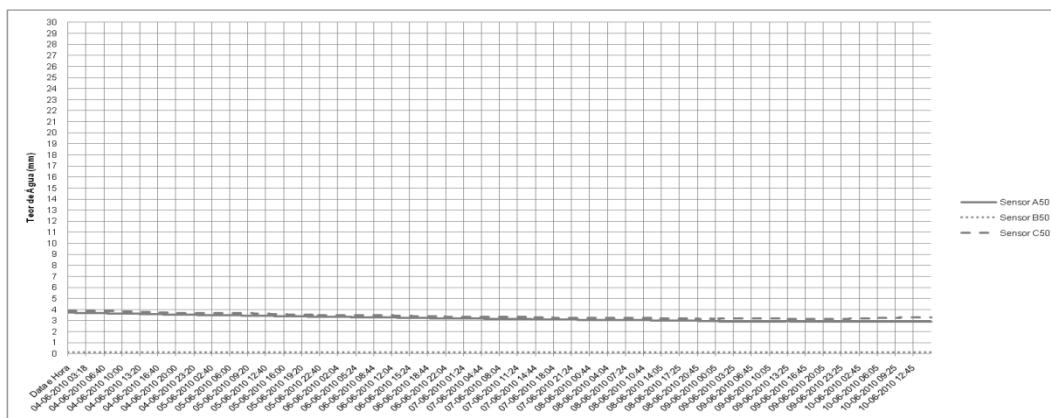
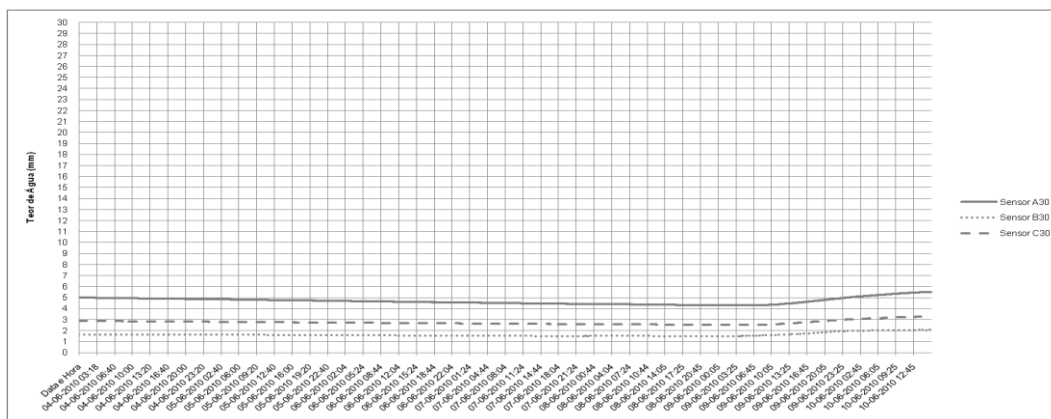
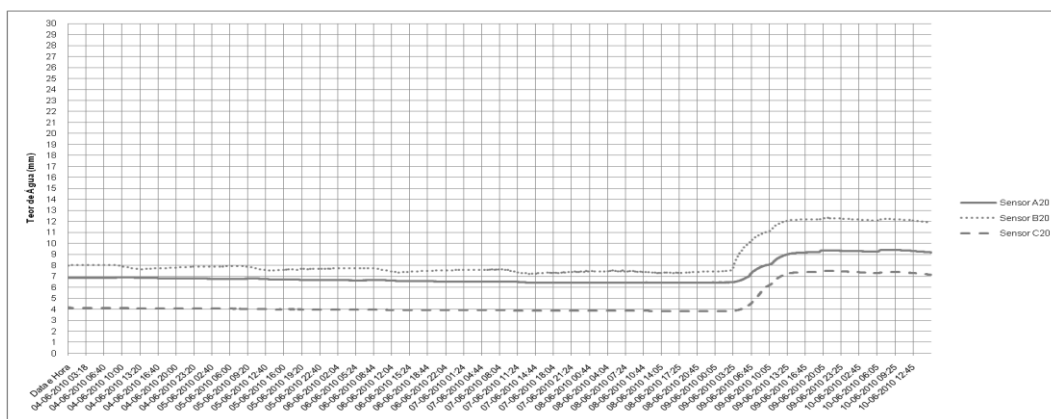
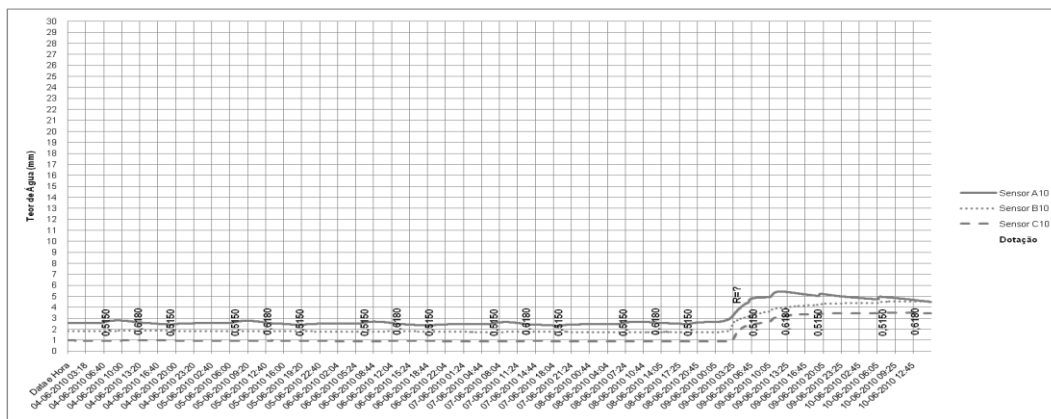
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 10cm de profundidade no período de 21 a 27 de Maio de 2010



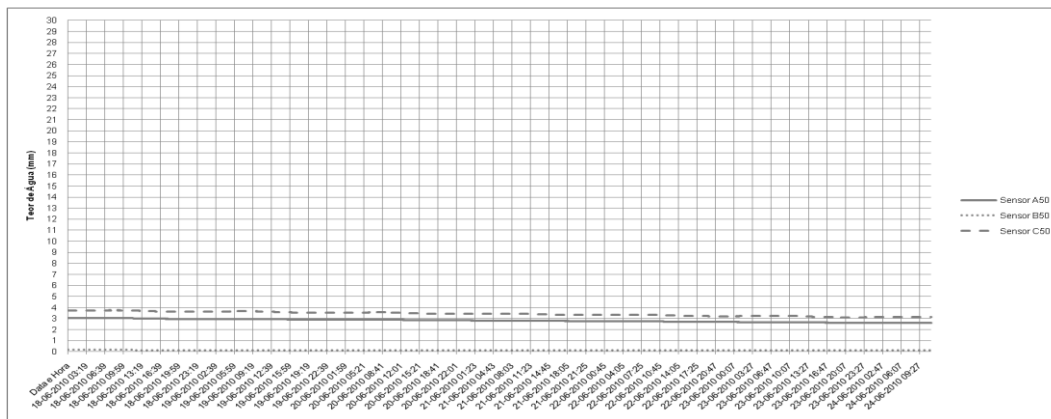
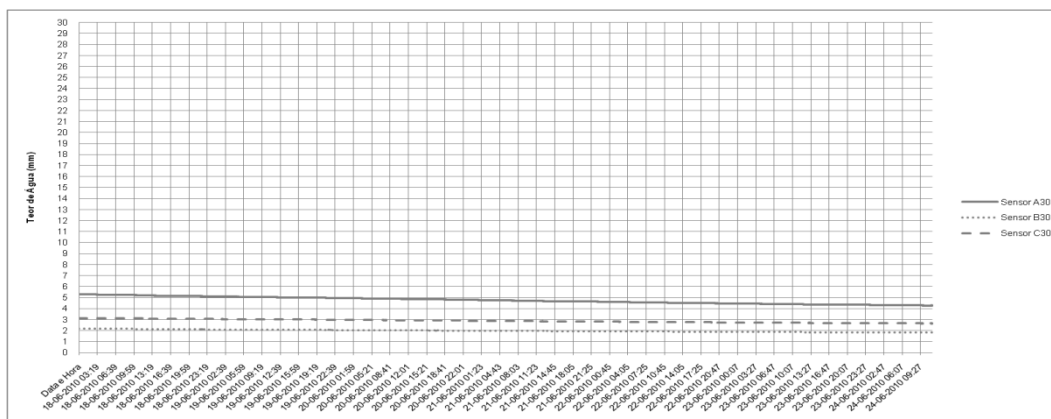
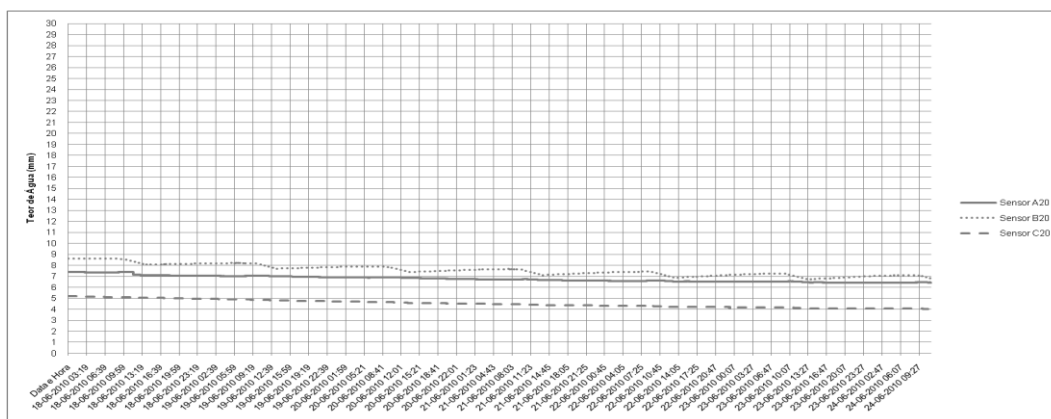
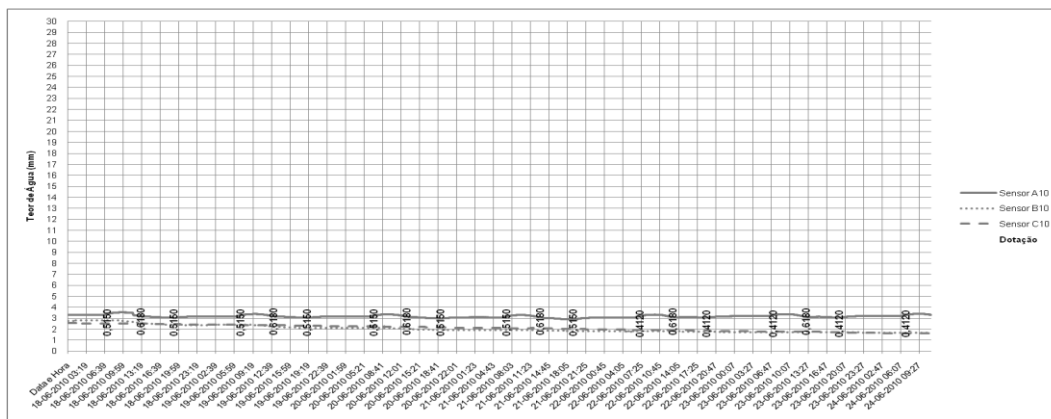
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 10cm de profundidade no período de 28 de Maio a 3 de Junho de 2010



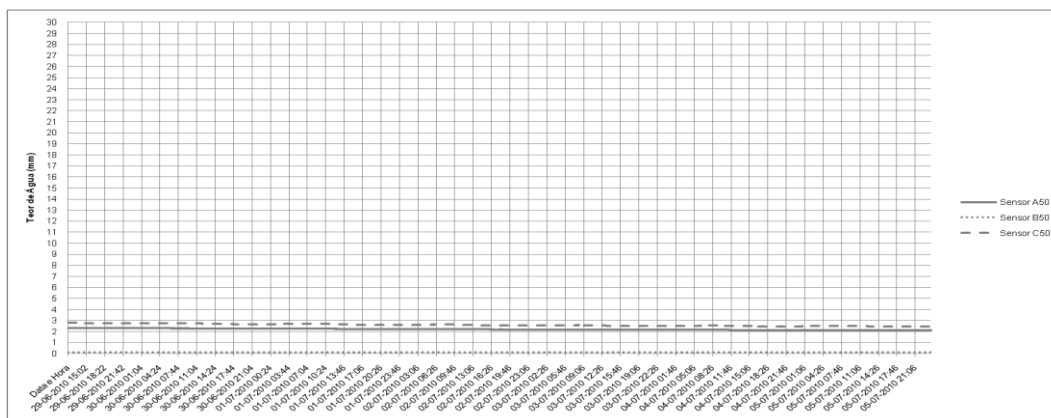
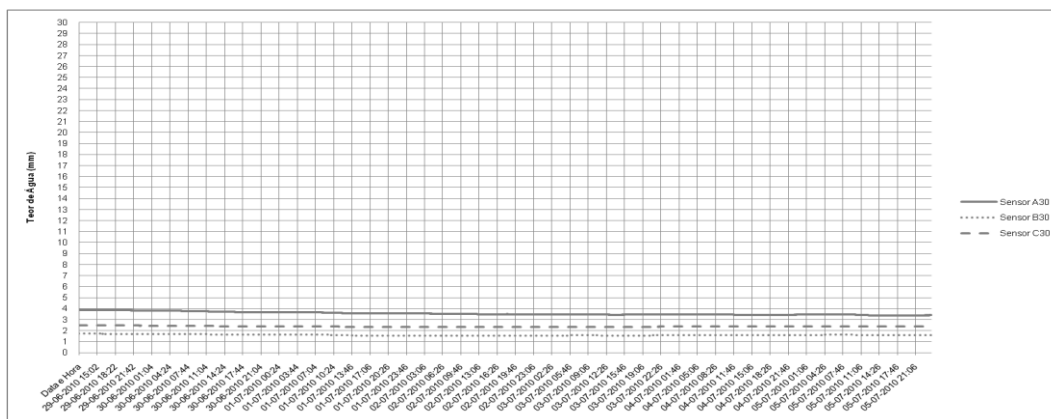
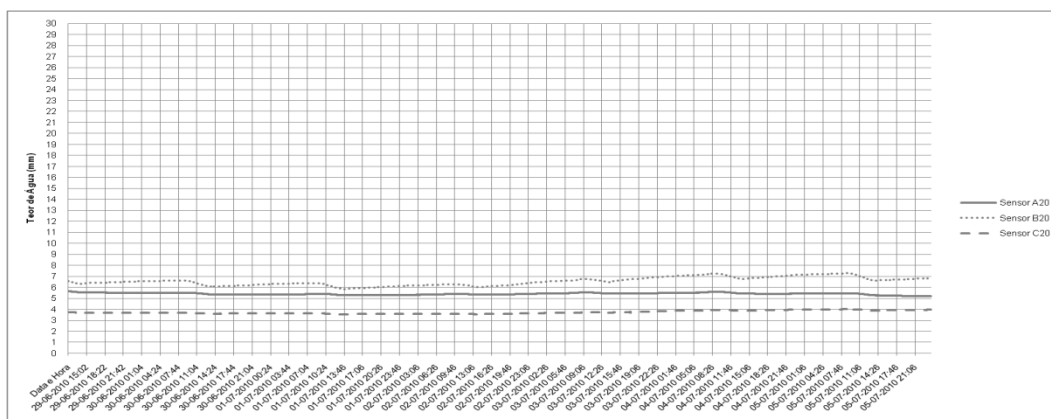
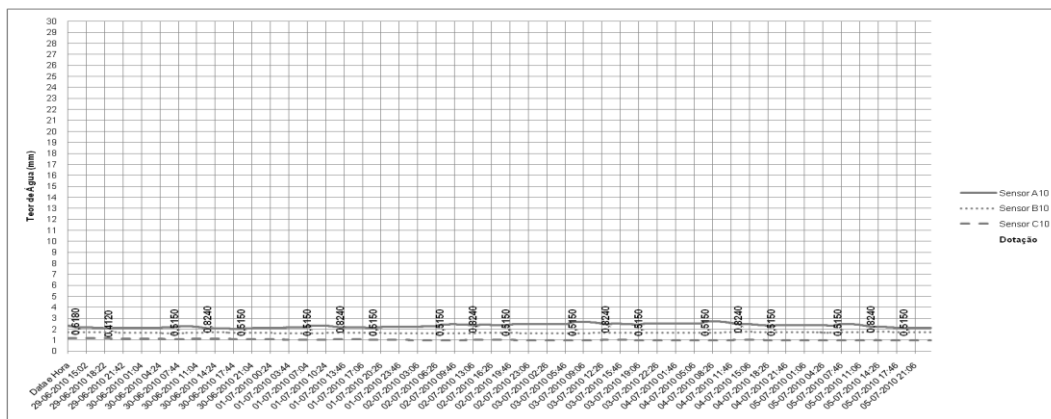
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 10cm de profundidade no período de 4 a 10 de Junho de 2010



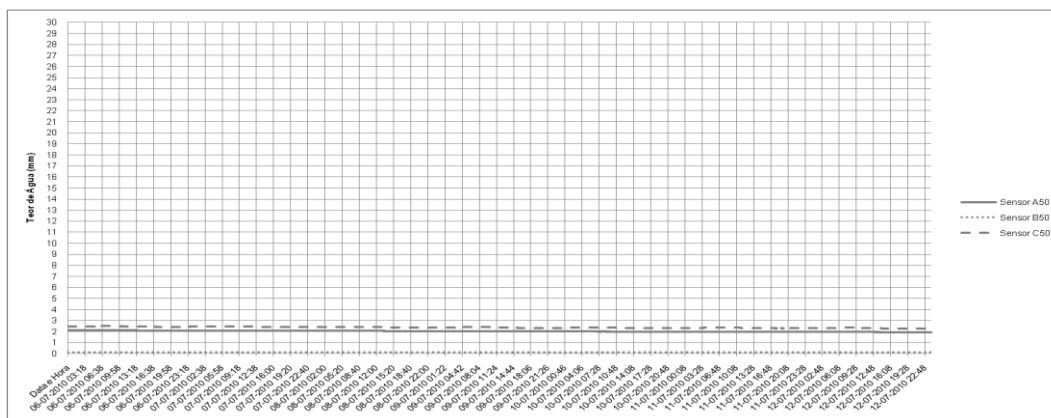
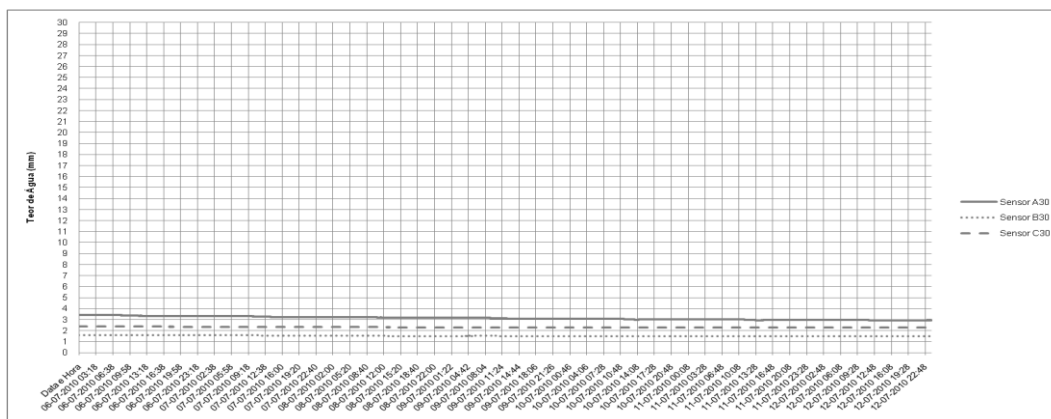
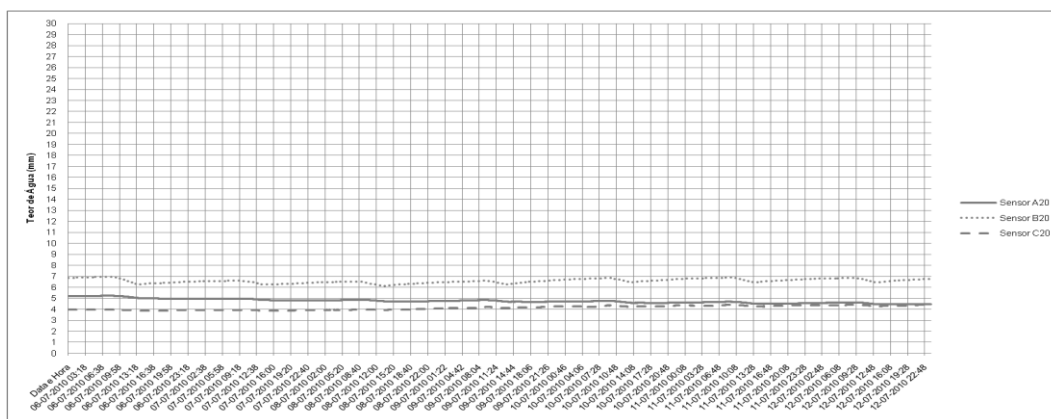
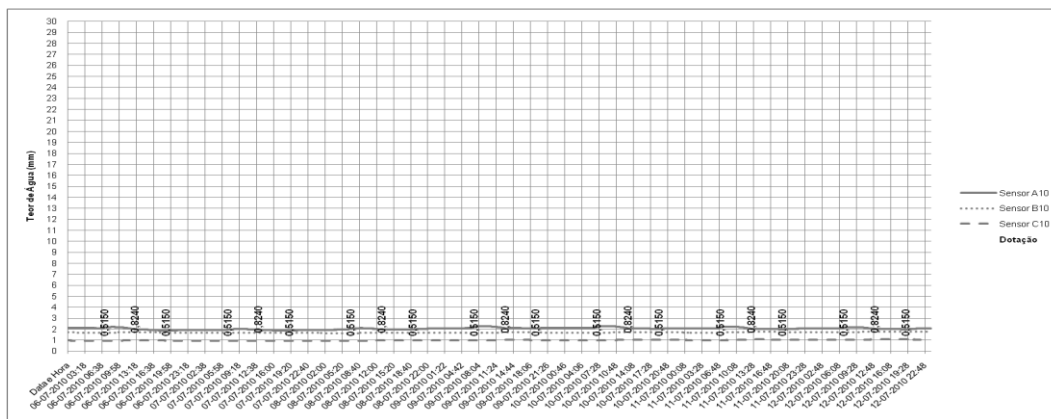
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 10cm de profundidade no período de 18 a 24 de Junho de 2010



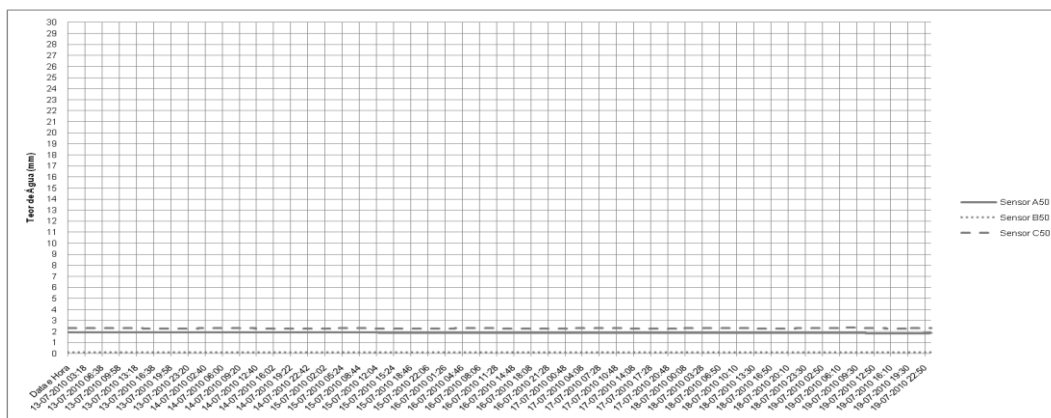
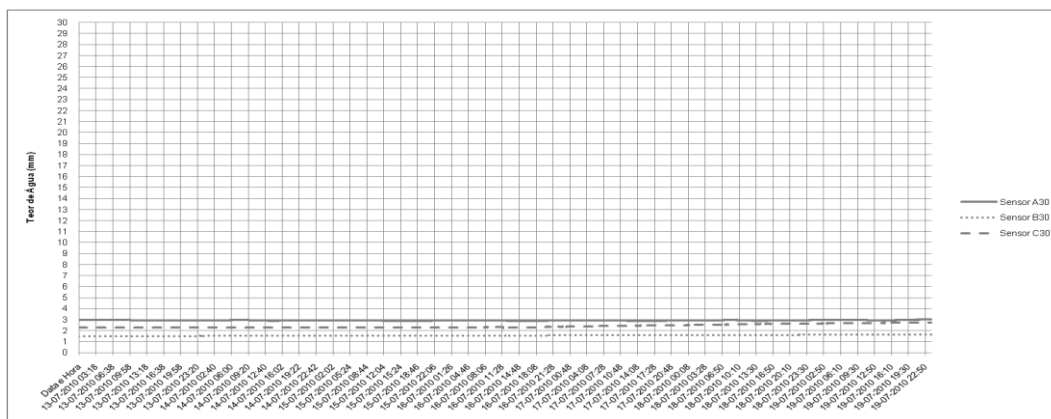
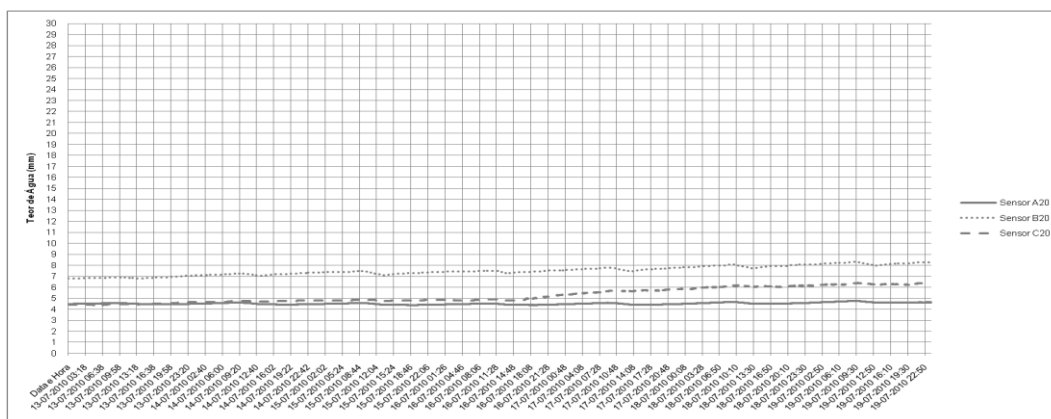
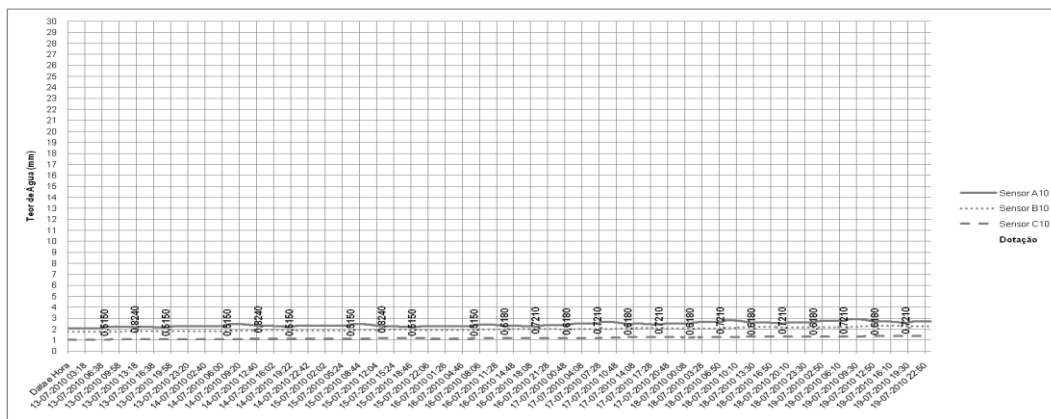
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 10cm de profundidade no período de 29 de Junho a 5 de Julho de 2010



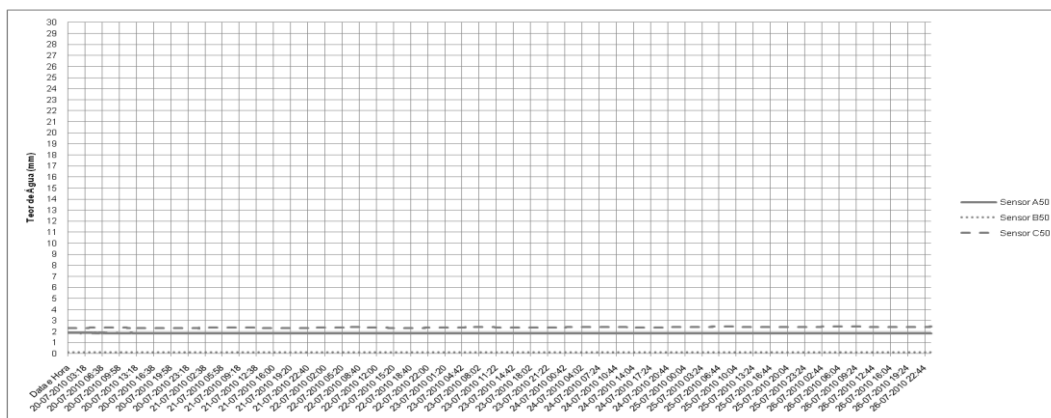
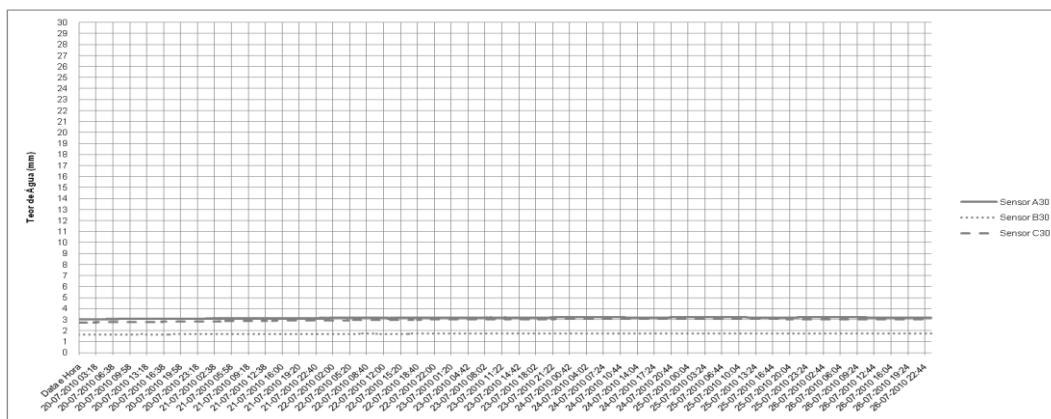
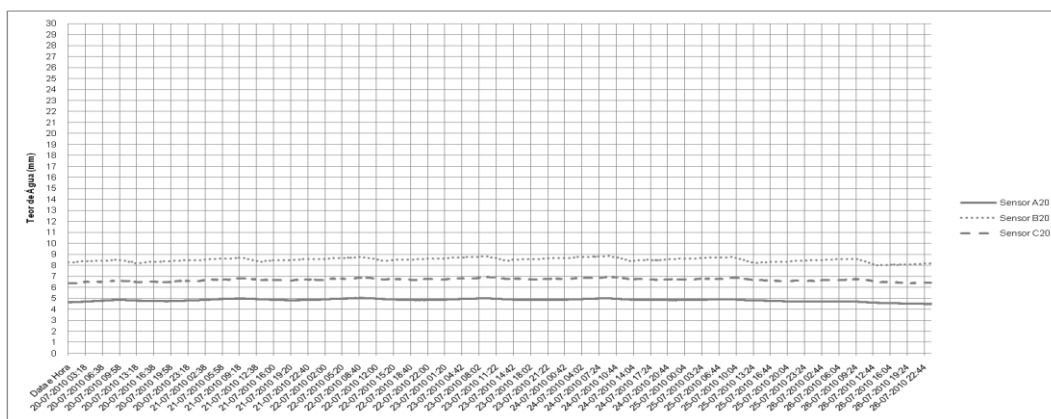
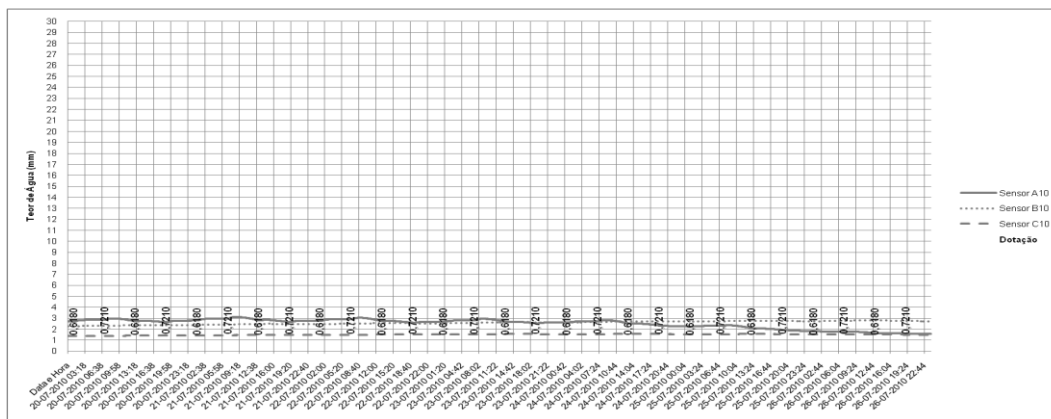
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 10cm de profundidade no período de 6 a 12 de Julho de 2010



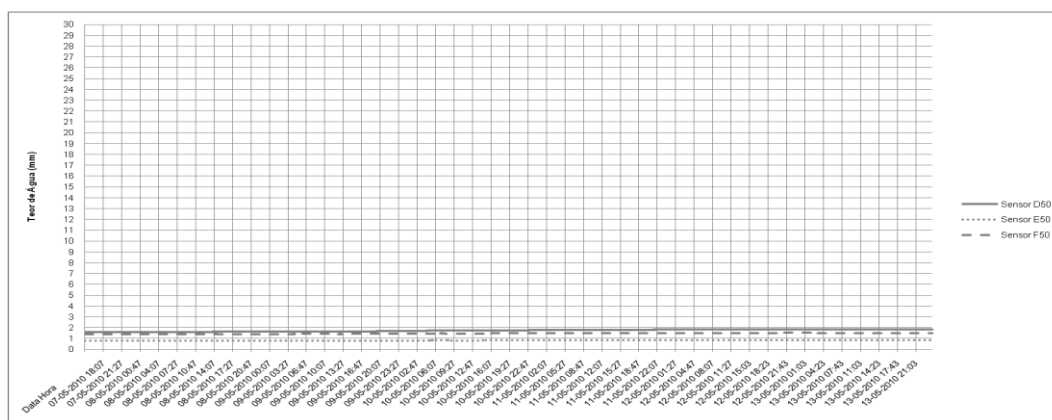
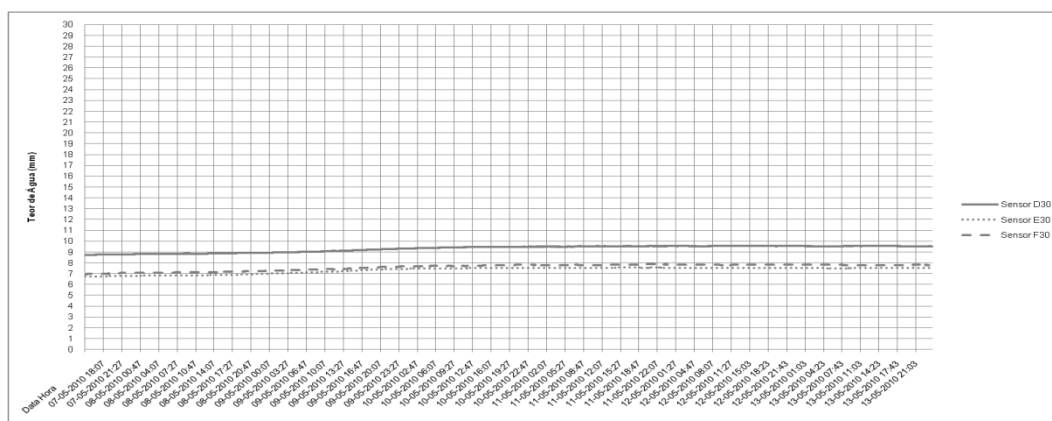
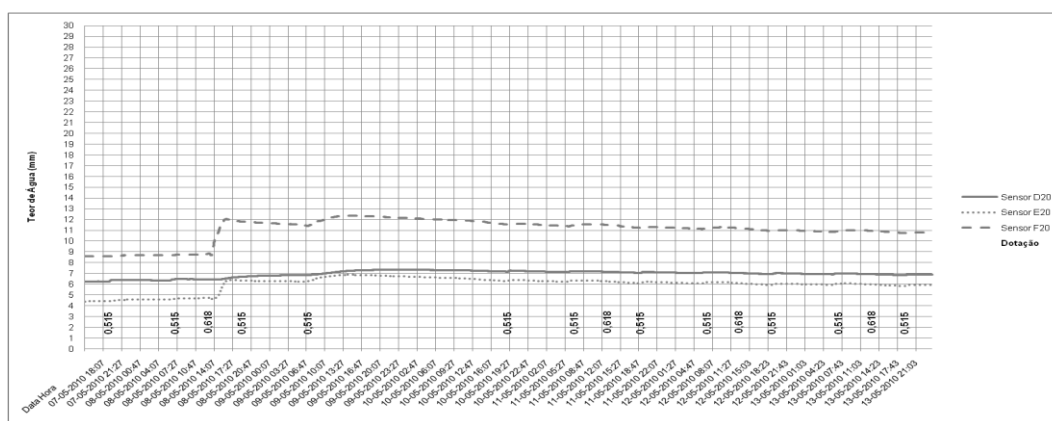
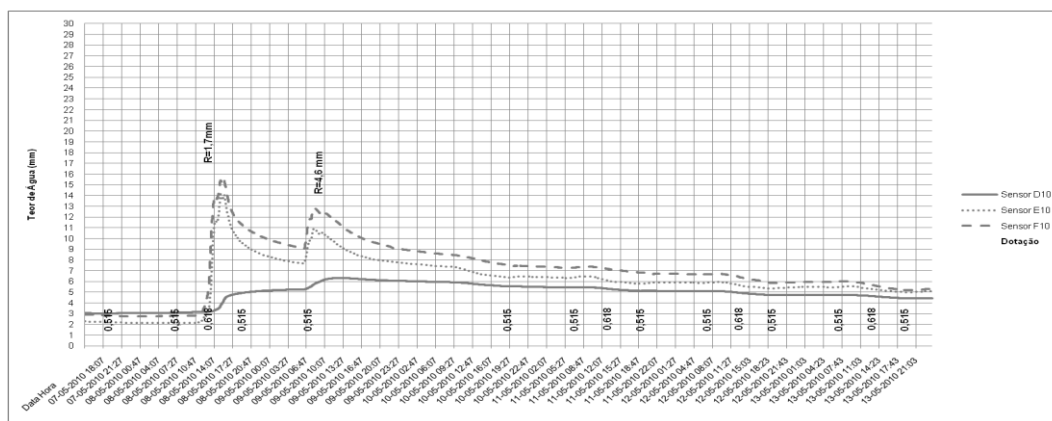
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 10cm de profundidade no período de 13 a 19 de Julho de 2010



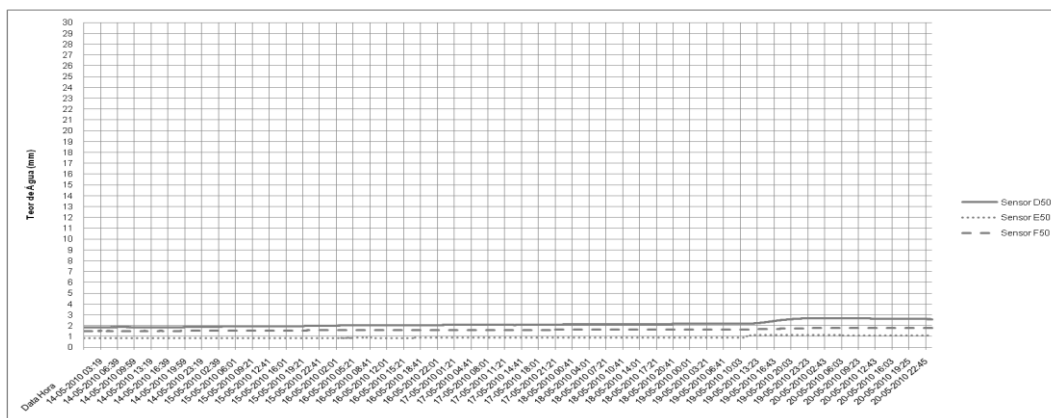
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 10cm de profundidade no período de 20 a 26 de Julho de 2010



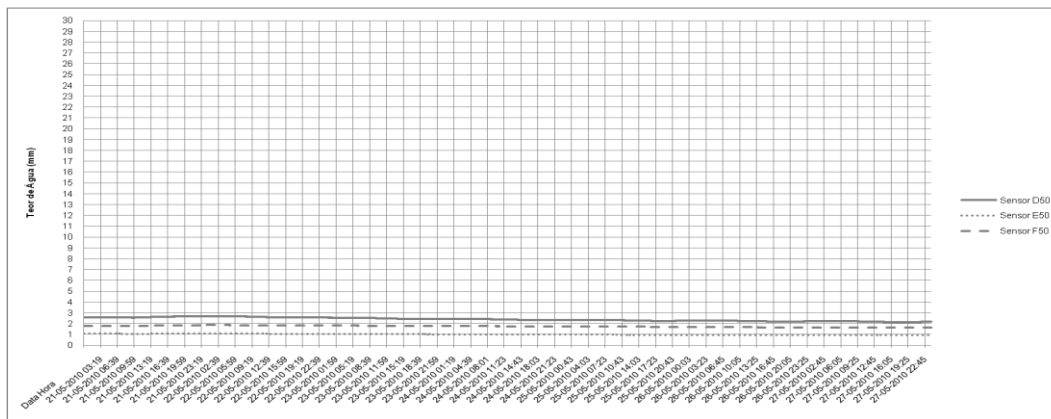
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 20 cm de profundidade no período de 7 a 13 de Maio de 2010



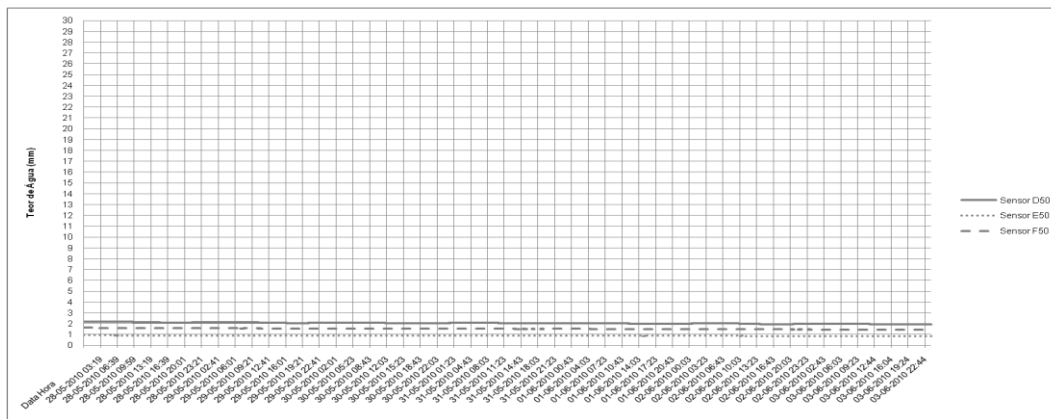
Anexos



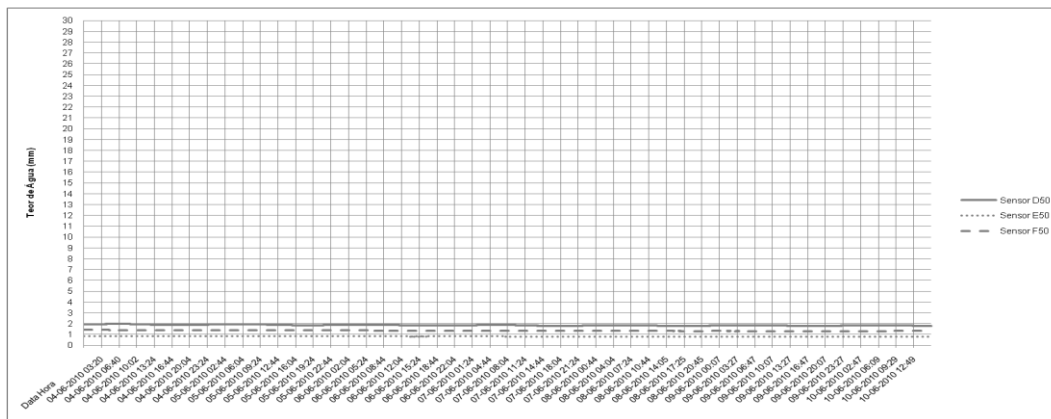
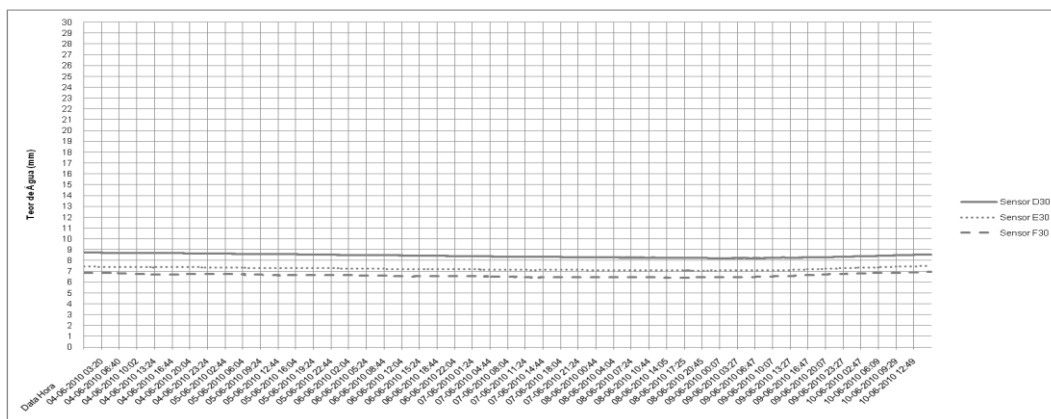
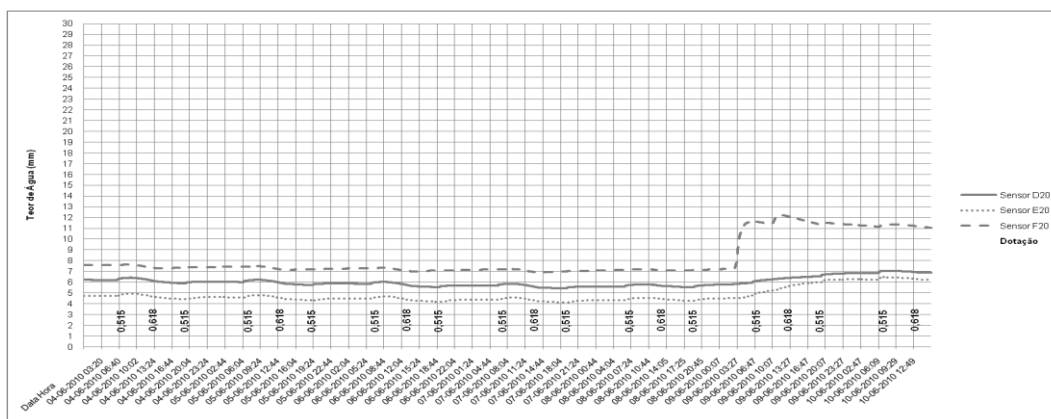
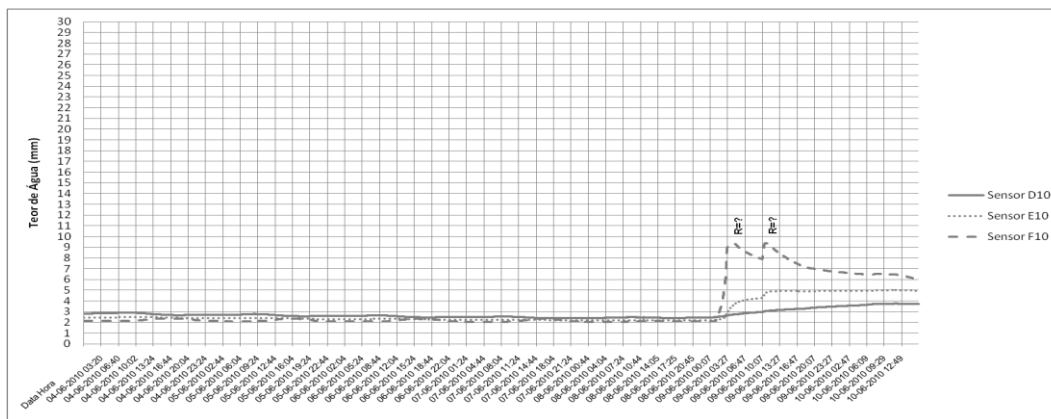
Anexos



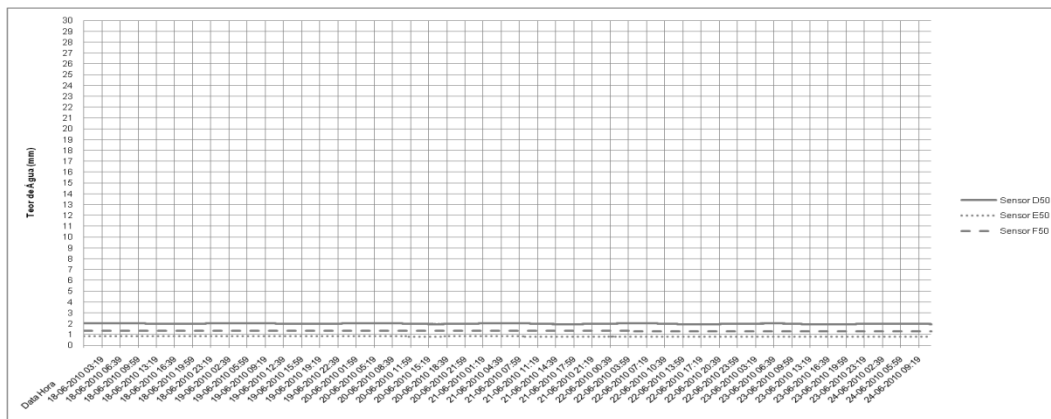
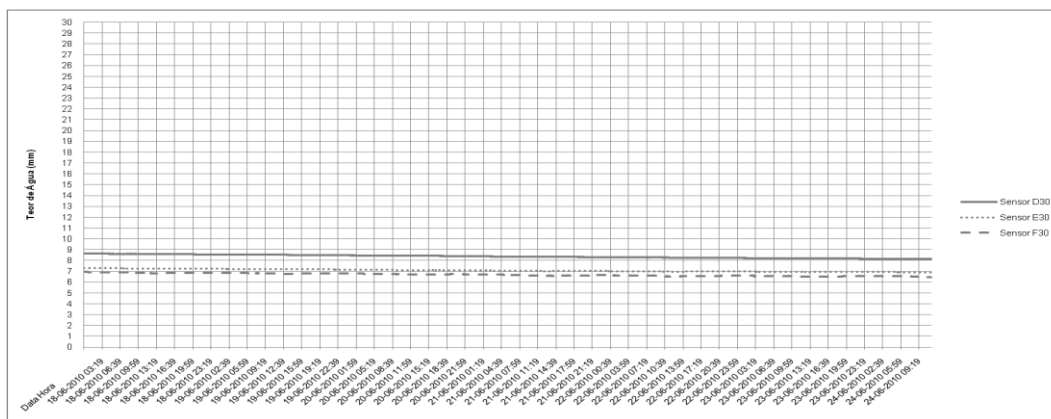
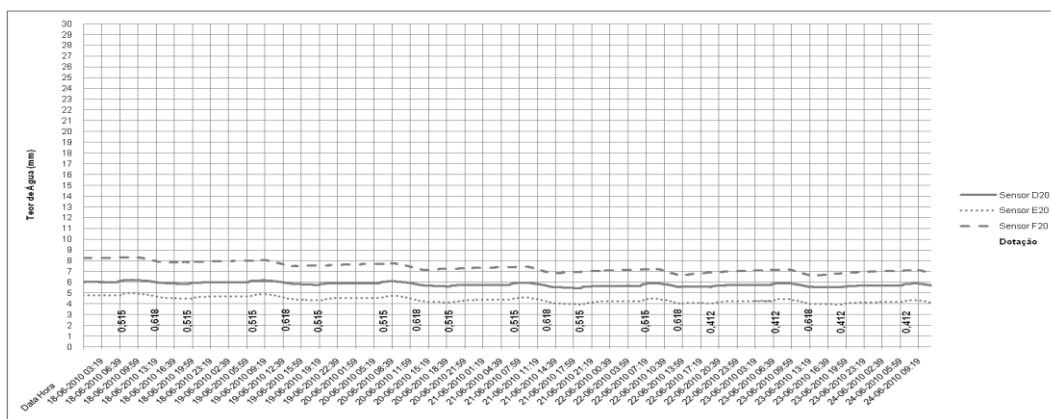
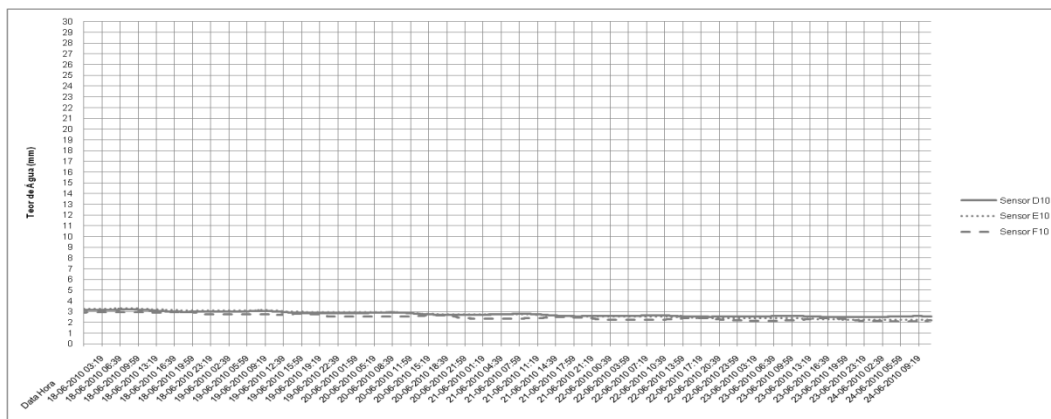
Anexos



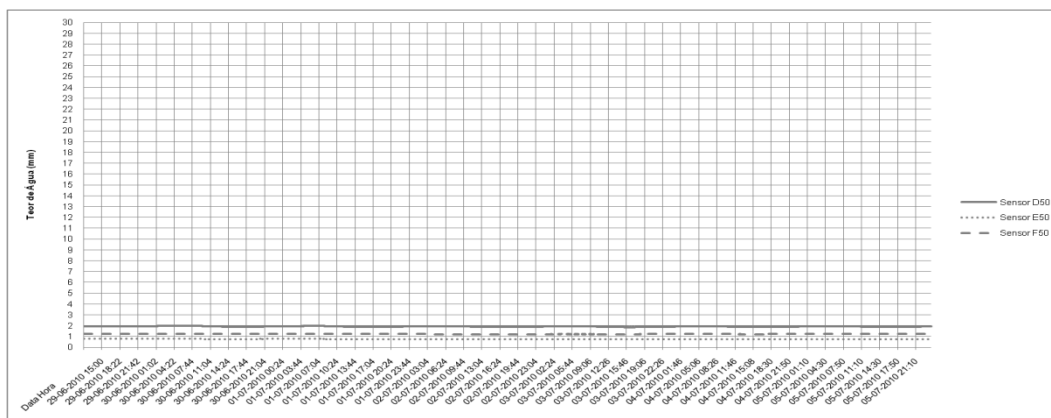
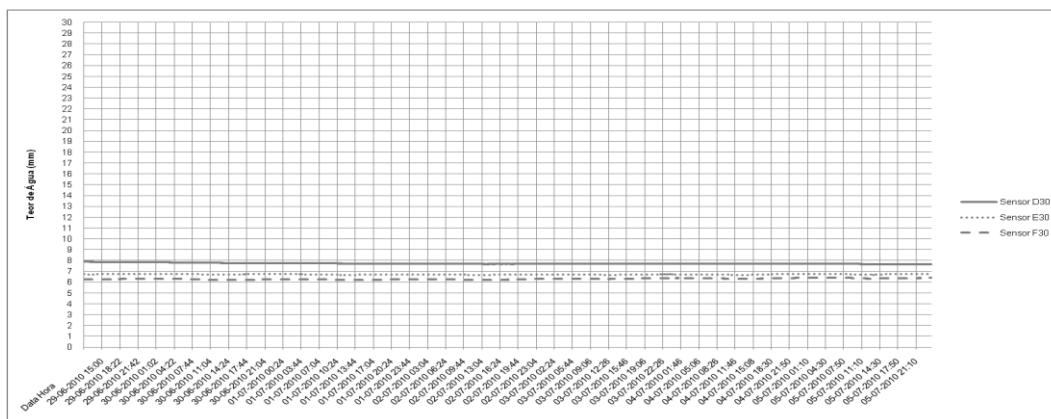
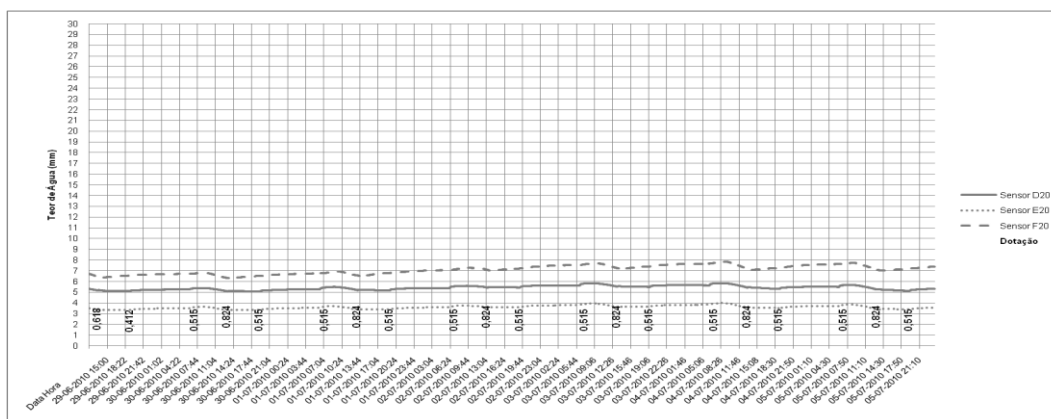
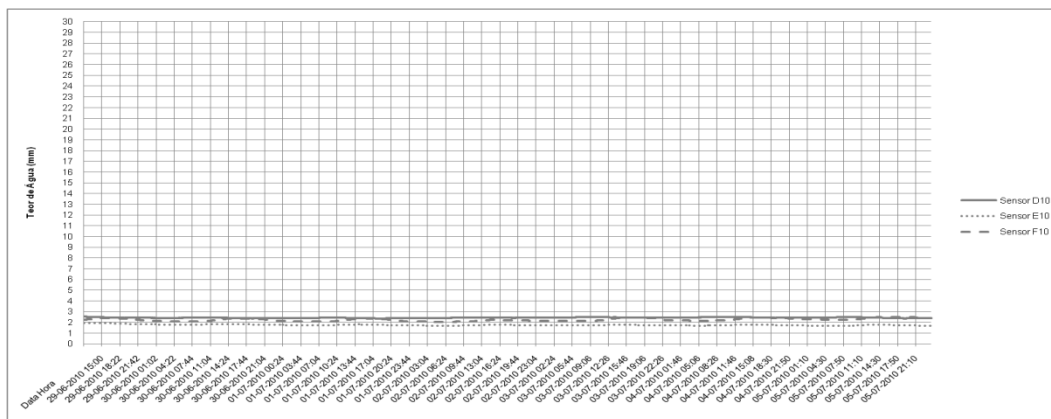
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 20 cm de profundidade no período de 4 a 10 de Junho de 2010



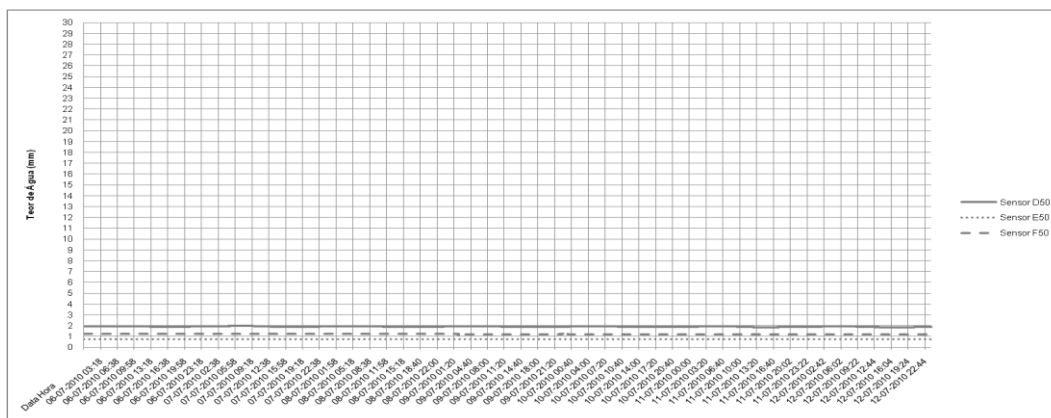
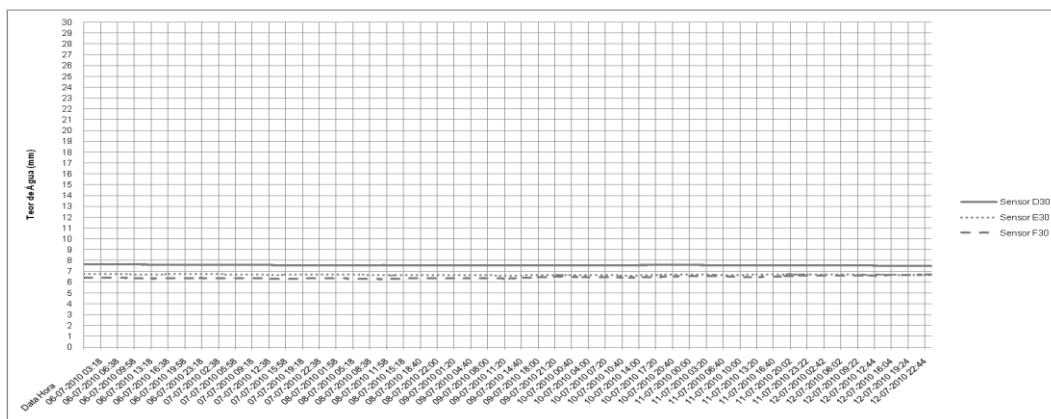
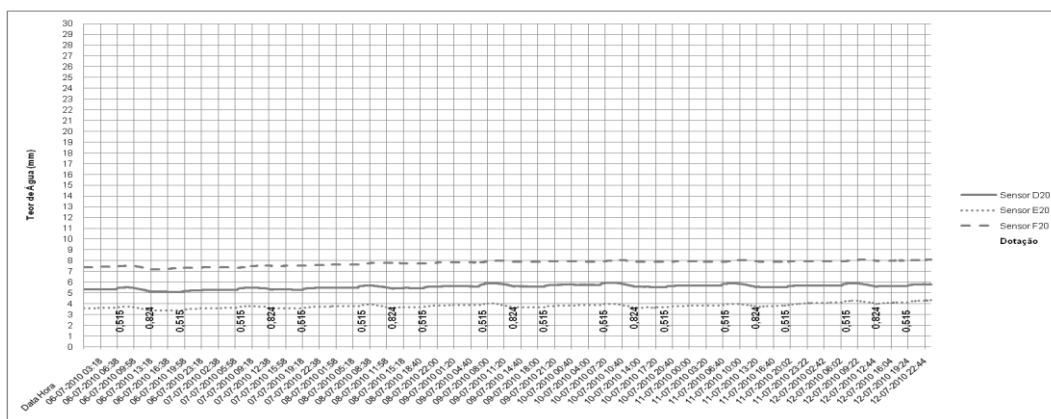
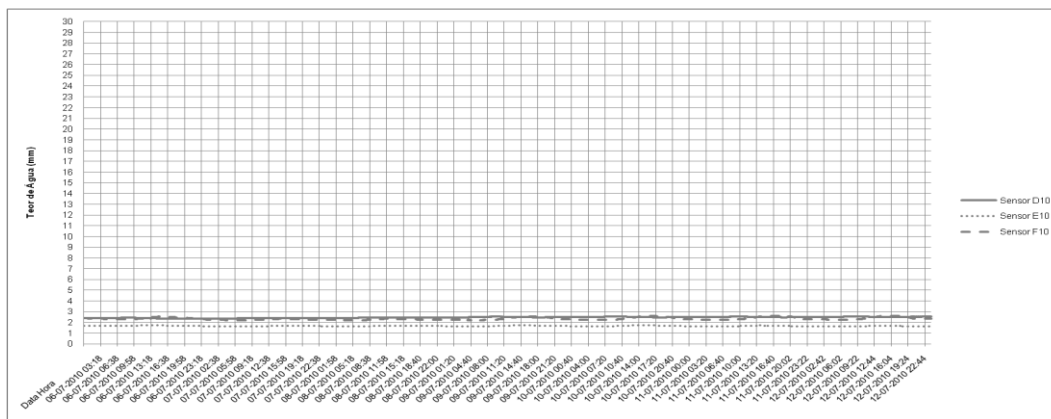
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 20 cm de profundidade no período de 18 a 24 de Junho de 2010



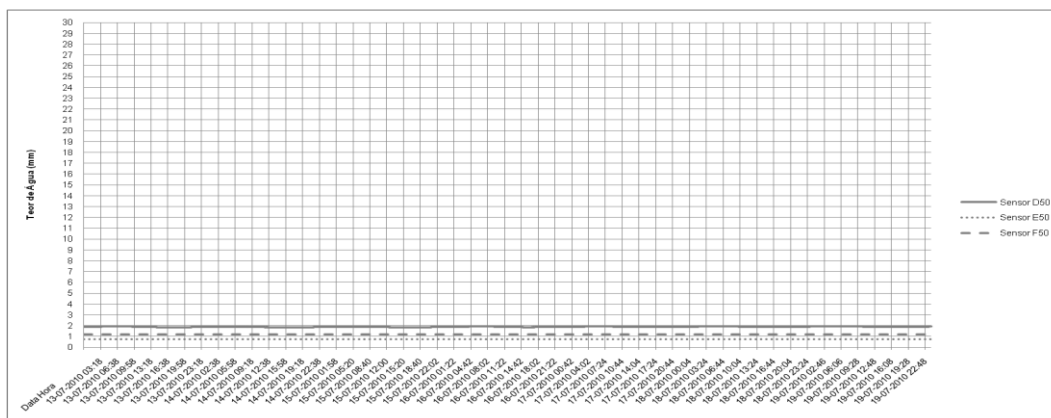
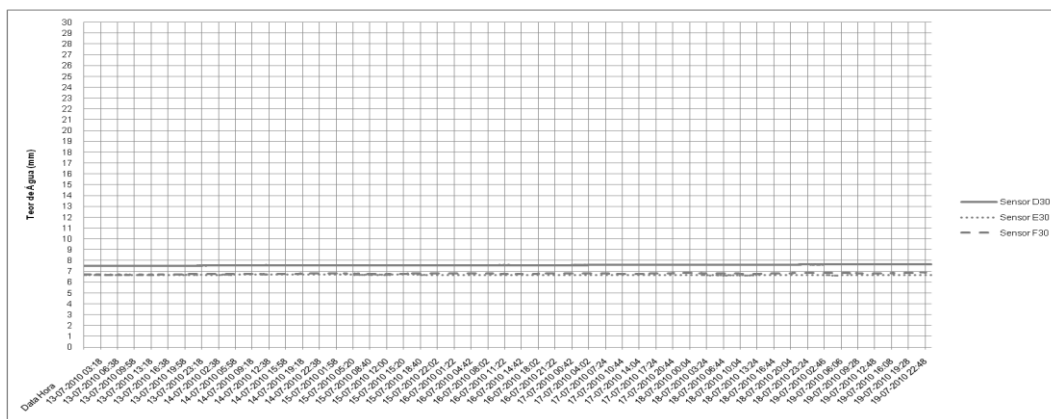
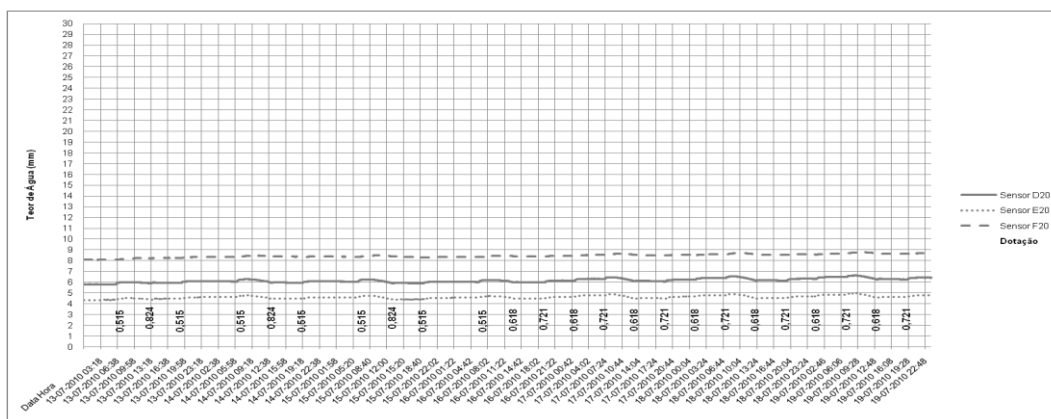
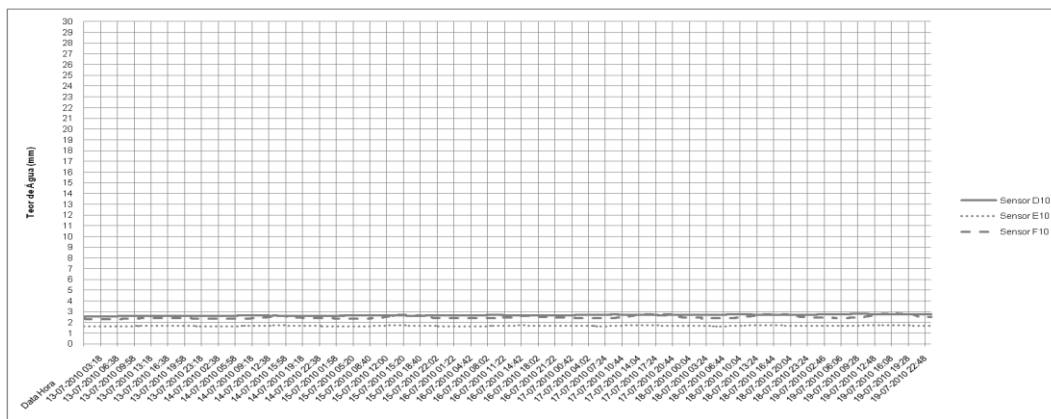
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 20 cm de profundidade no período de 18 a 24 de Junho de 2010



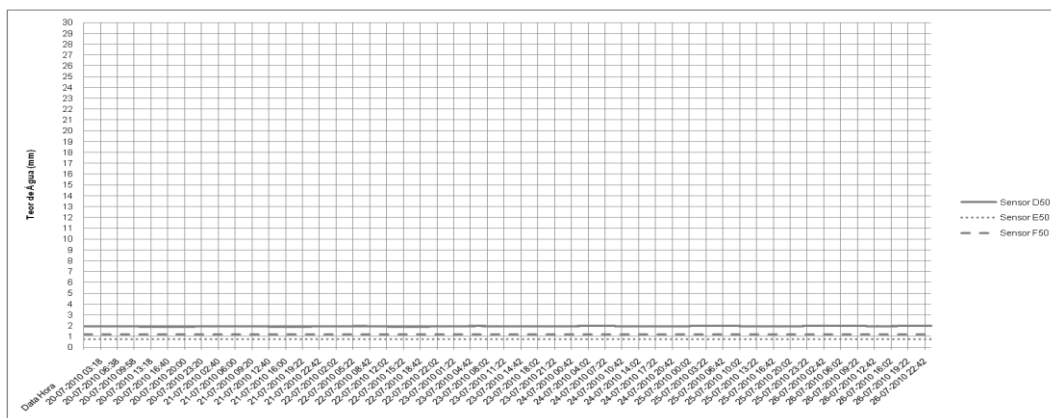
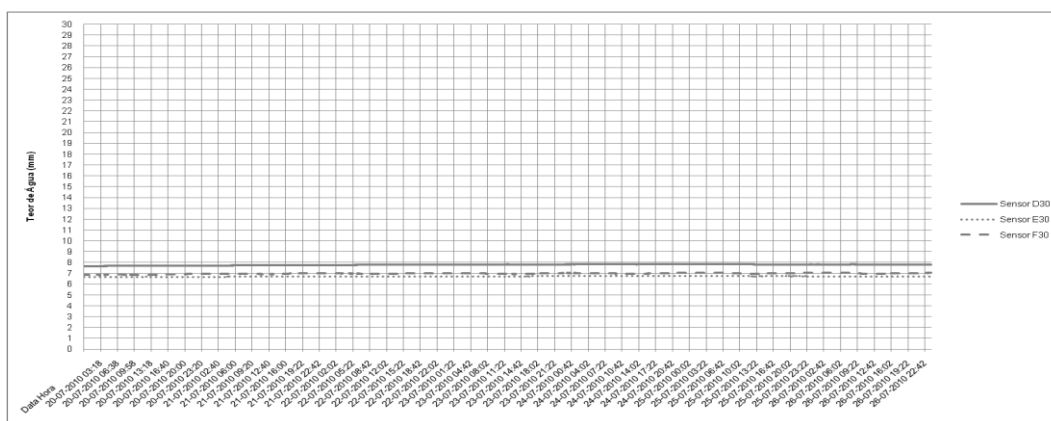
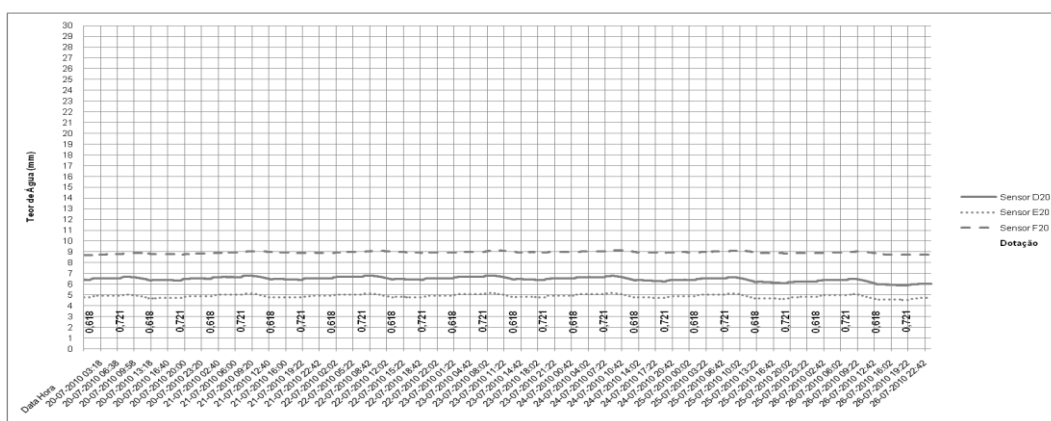
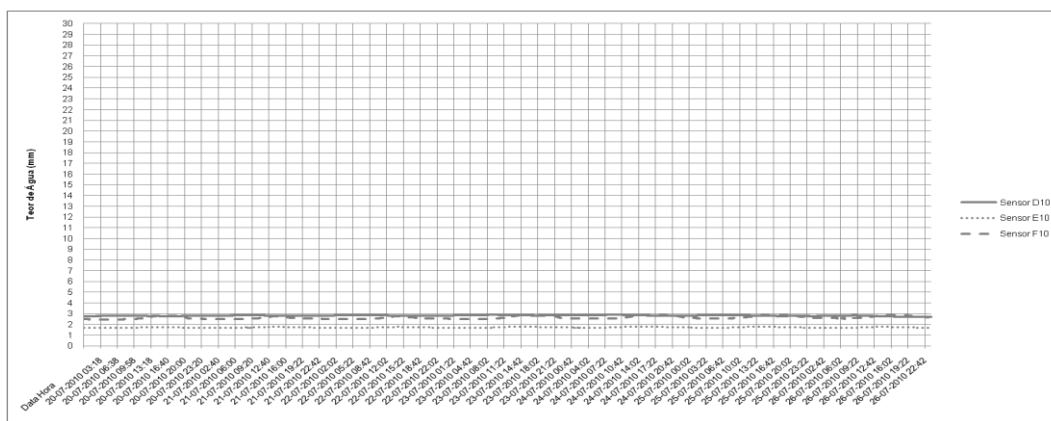
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 20 cm de profundidade no período de 6 a 12 de Julho de 2010



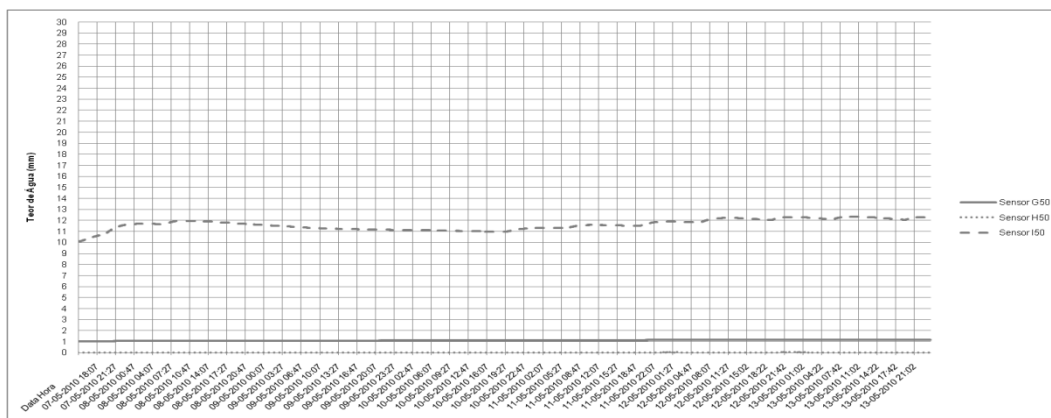
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 20 cm de profundidade no período de 13 a 19 de Julho de 2010



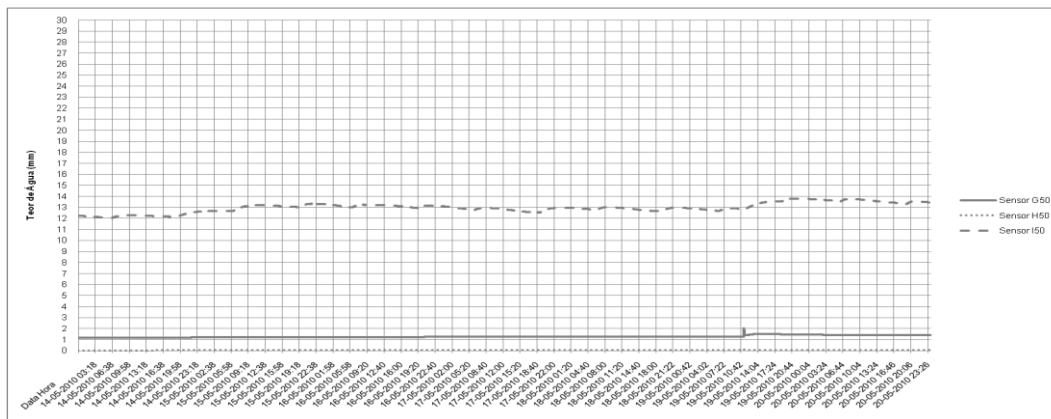
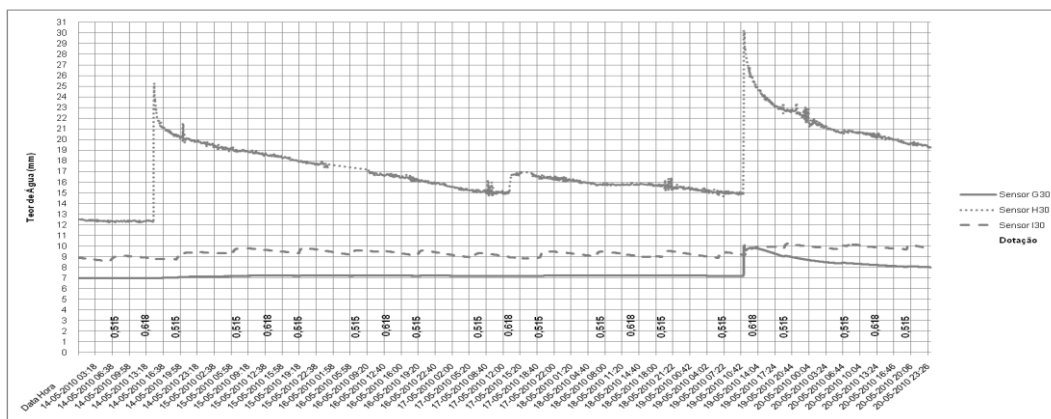
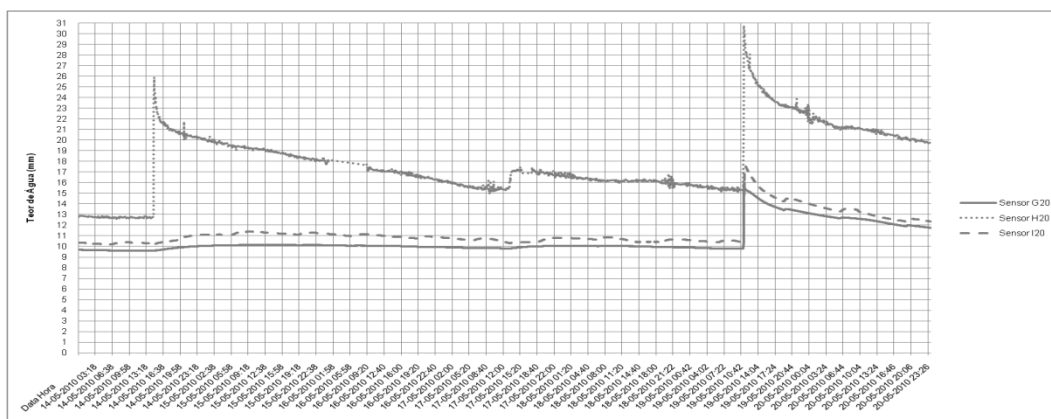
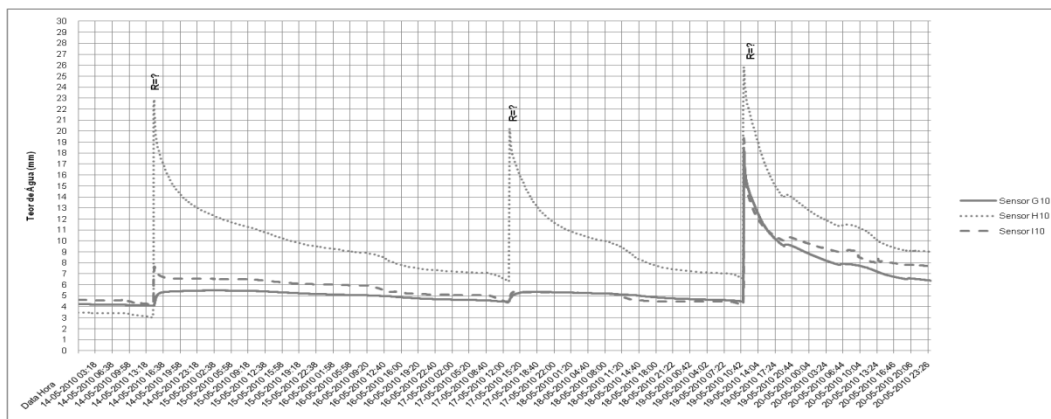
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 20 cm de profundidade no período de 20 a 26 de Julho de 2010



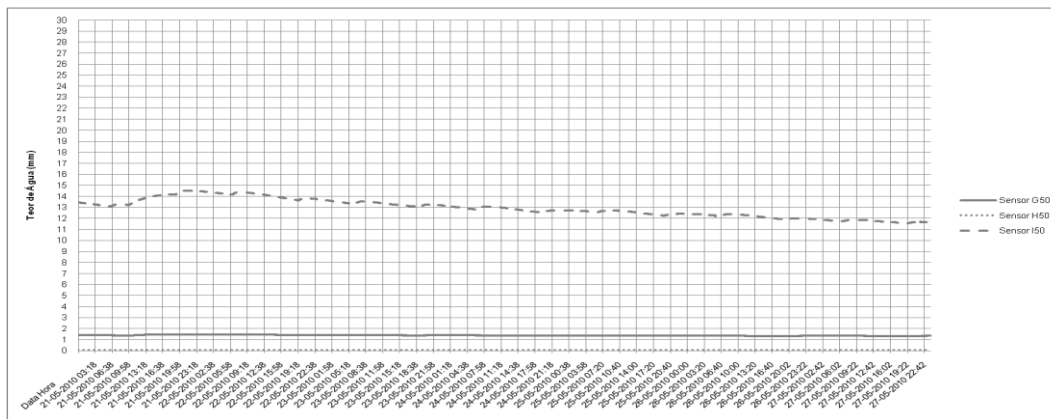
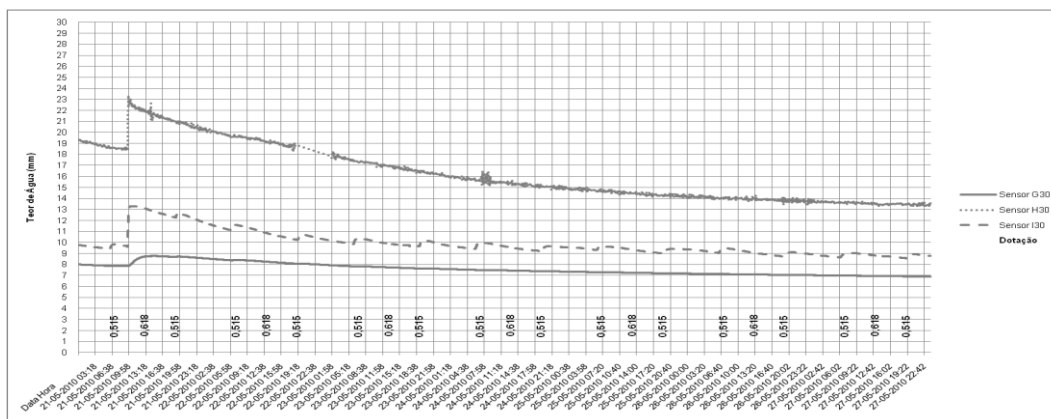
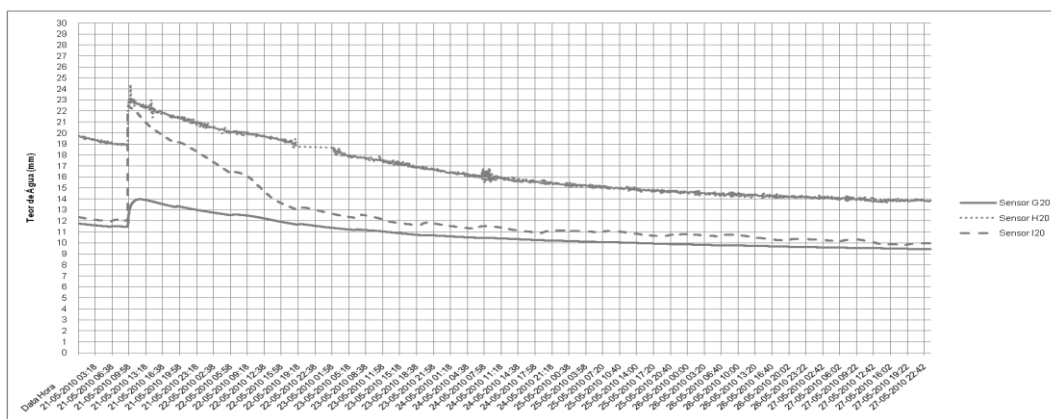
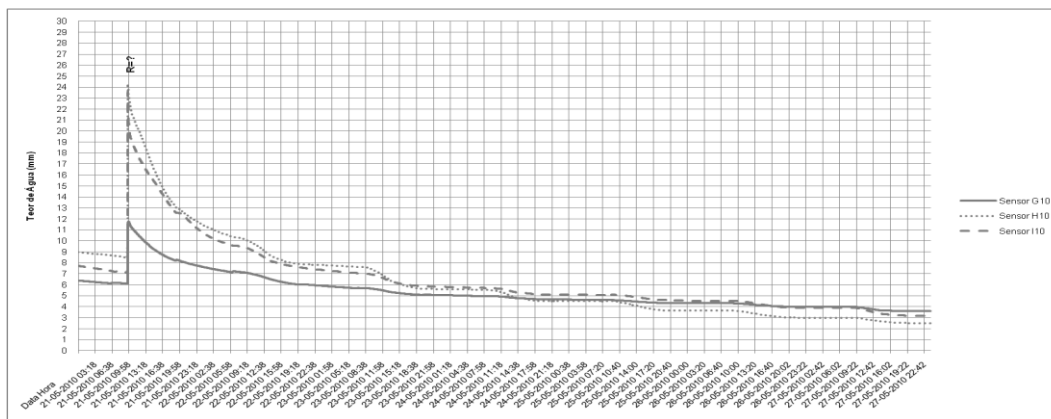
Anexos



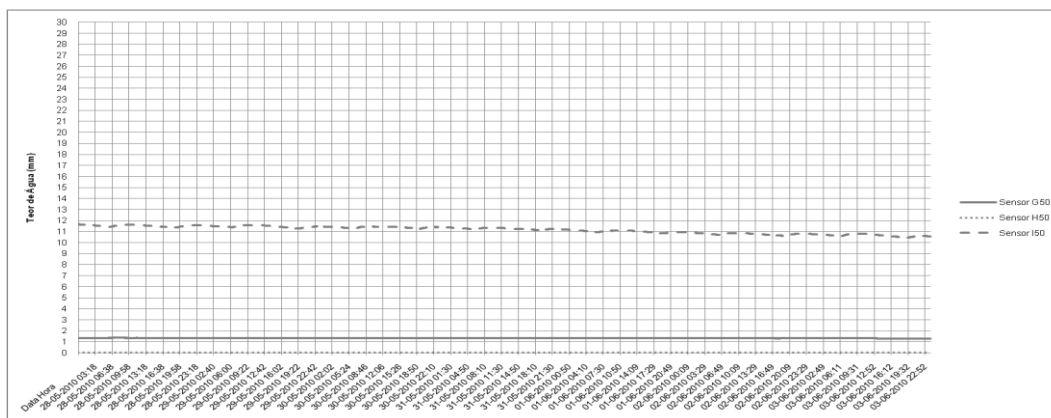
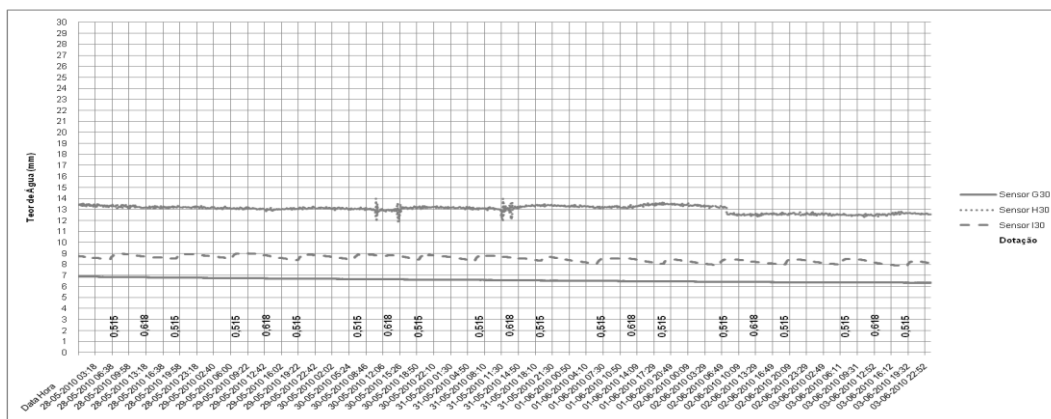
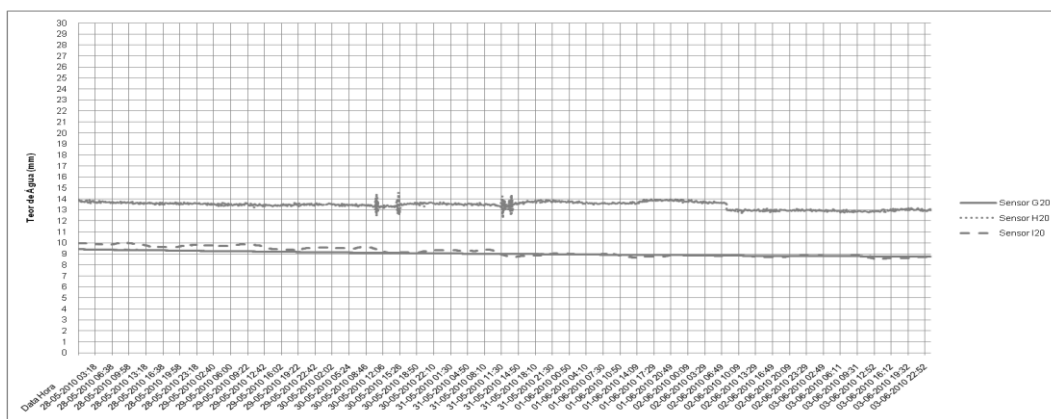
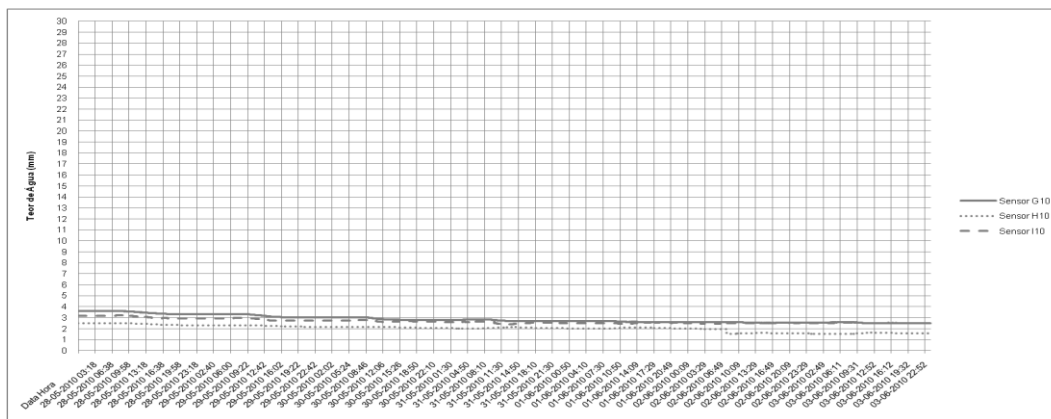
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 30 cm de profundidade para o período de 14 a 20 de Maio de 2010



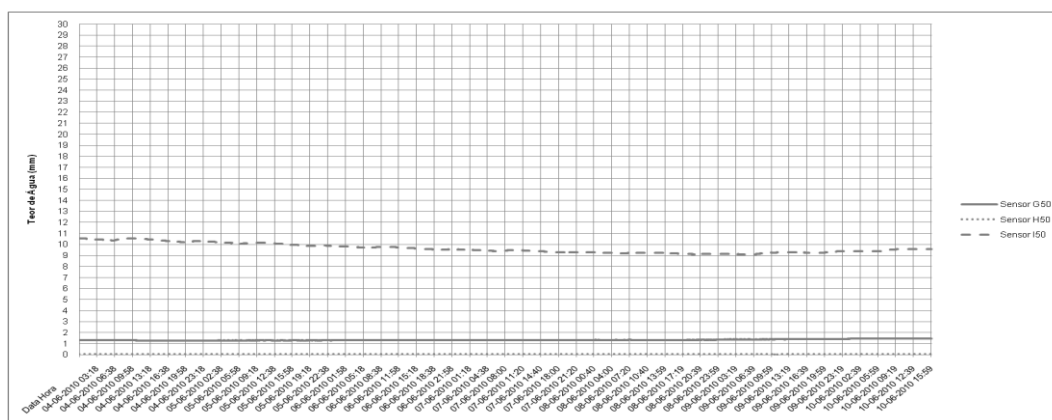
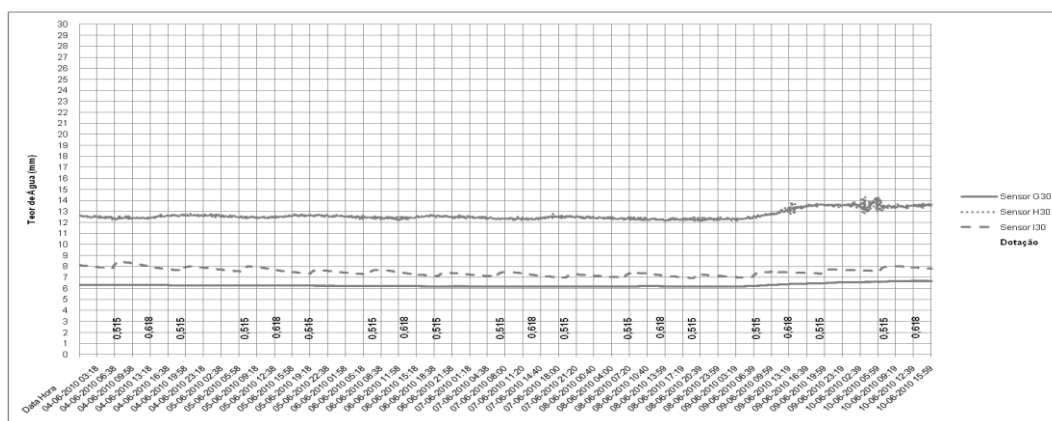
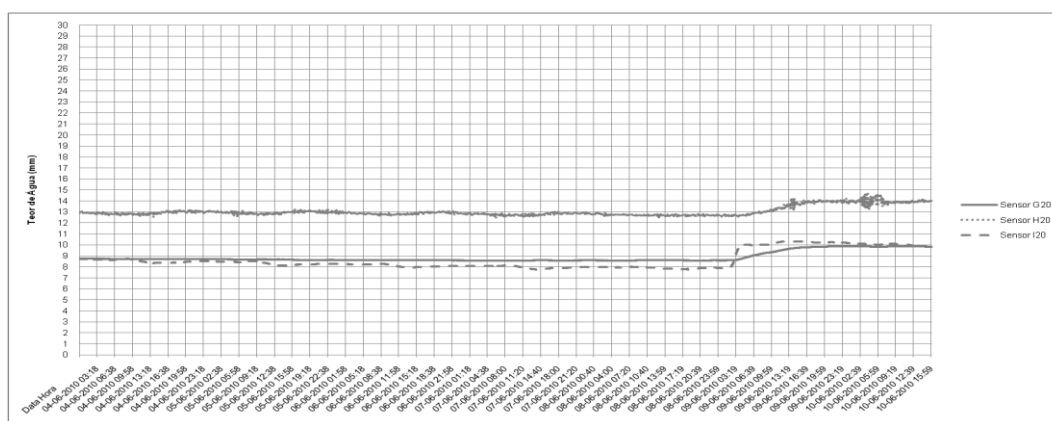
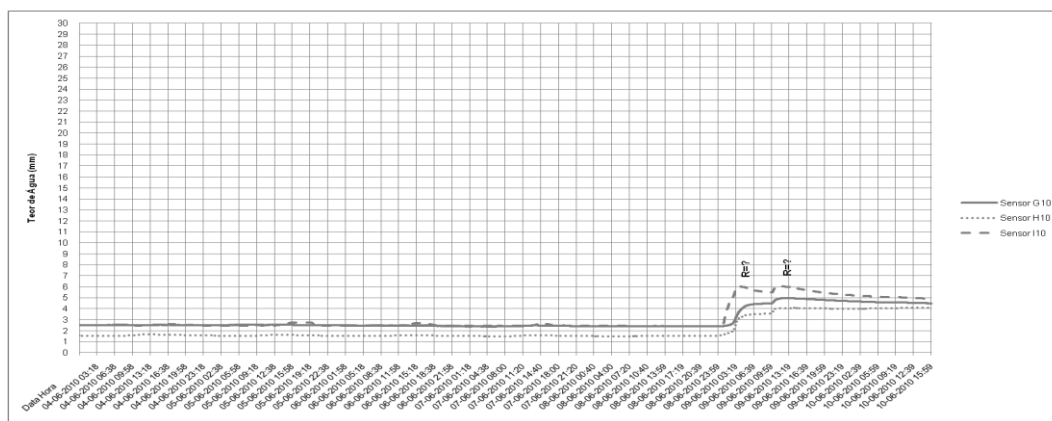
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 30 cm de profundidade para o período de 21 a 27 de Maio de 2010



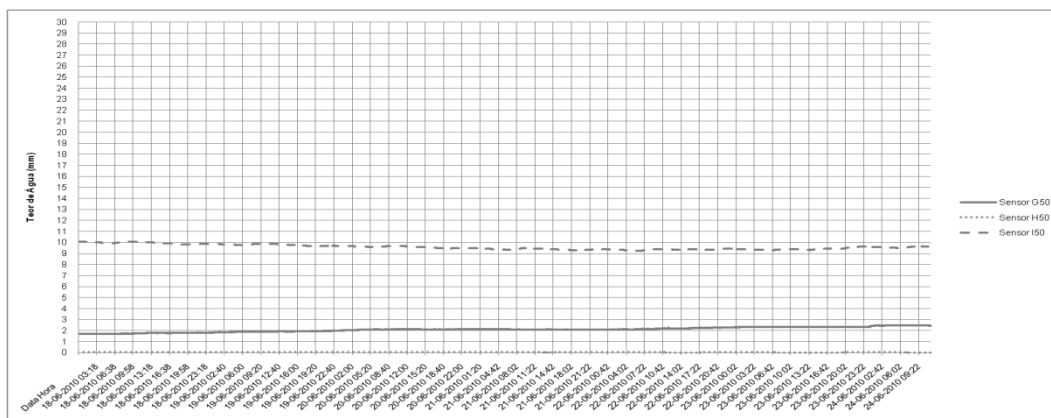
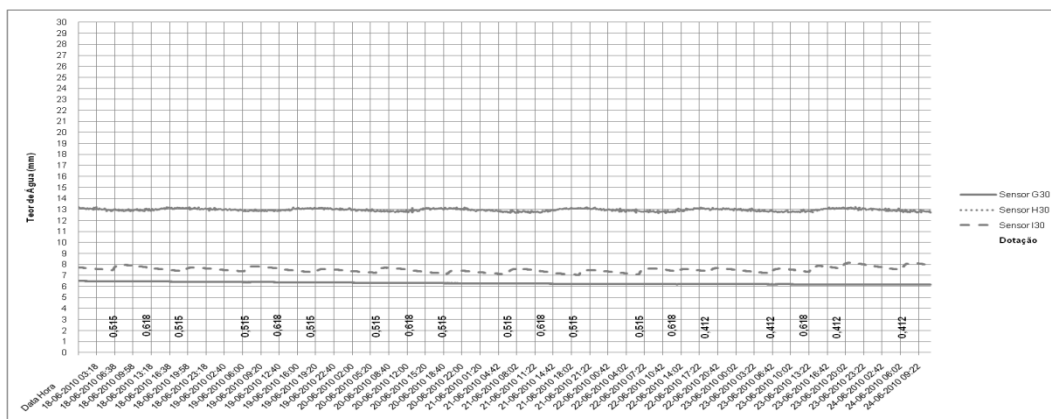
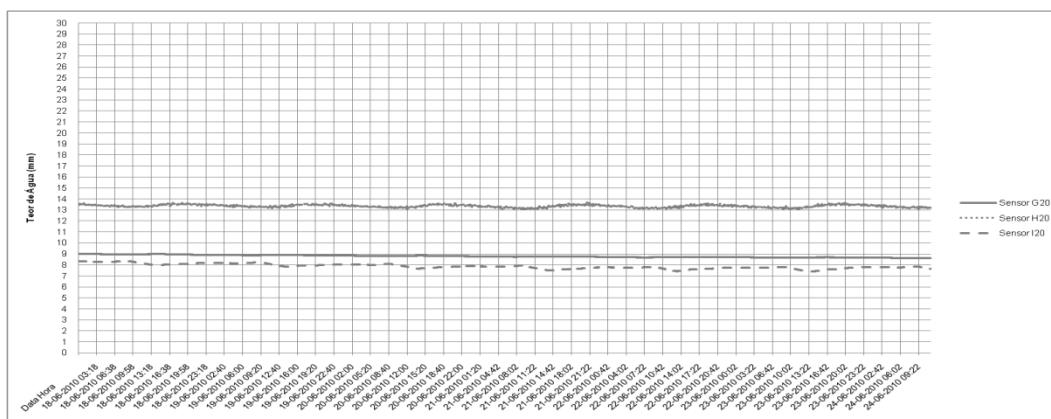
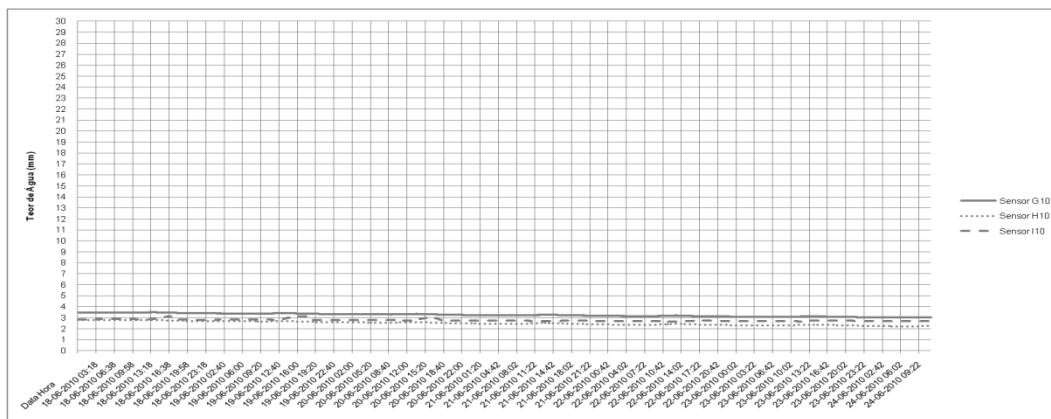
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 30 cm de profundidade para o período de 28 de Maio a 3 de Junho de 2010



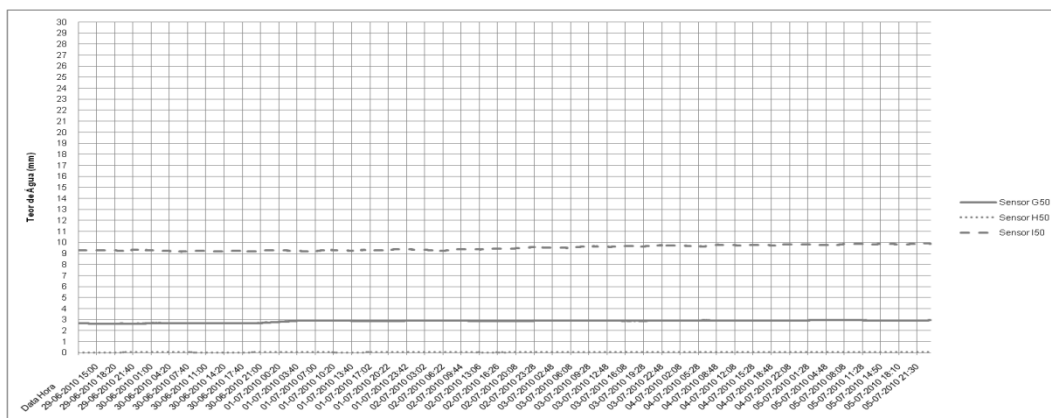
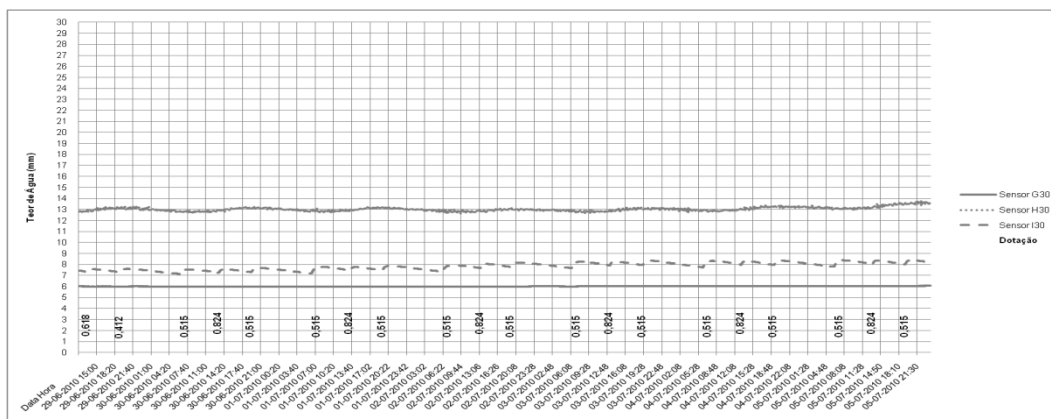
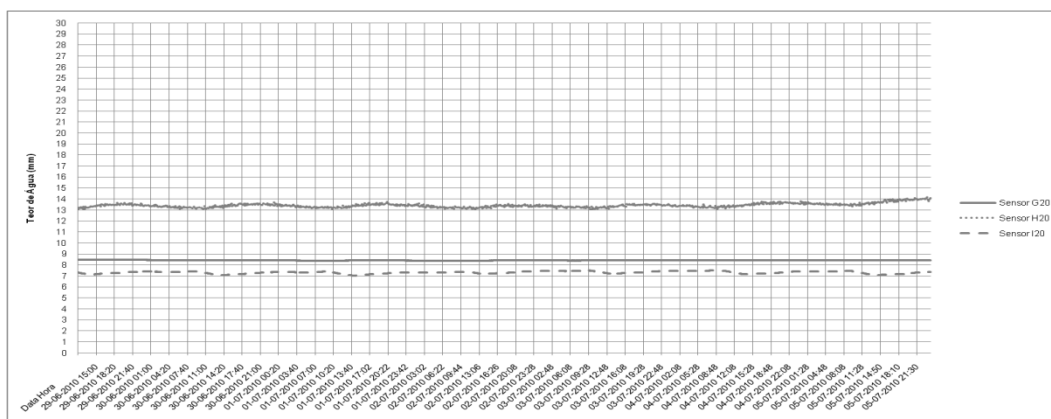
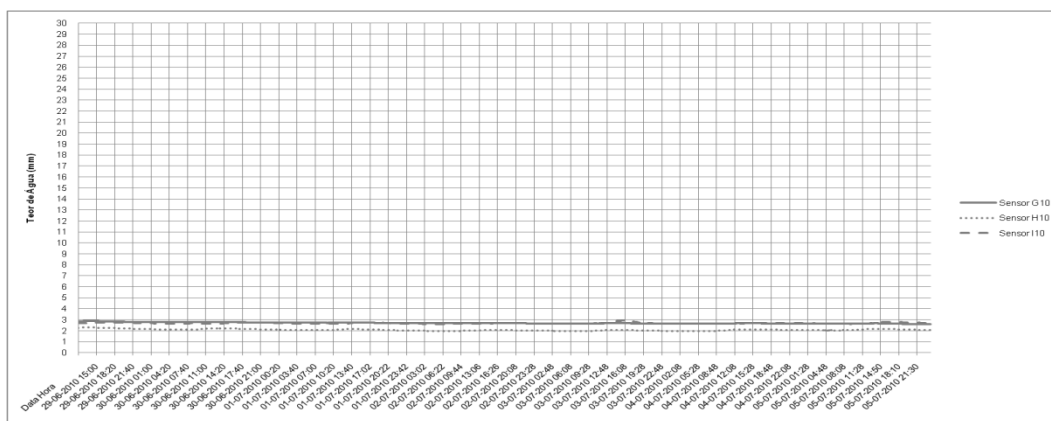
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 30 cm de profundidade para o período de 4 a 10 de Junho de 2010



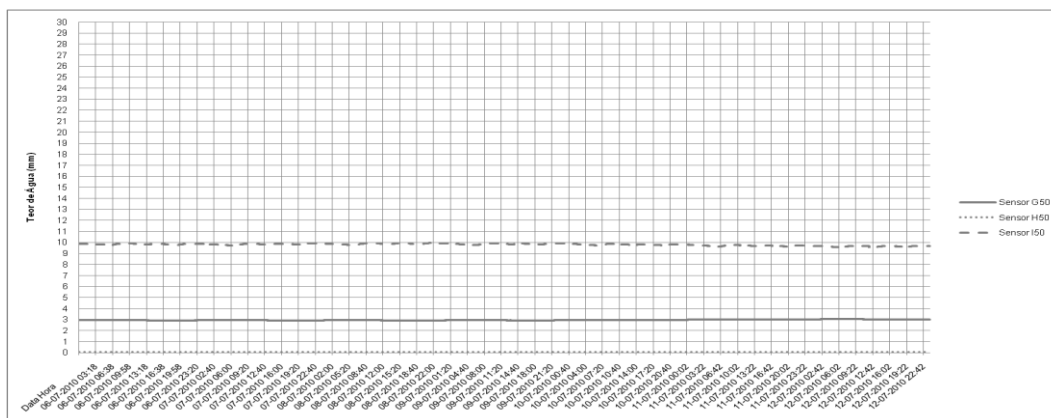
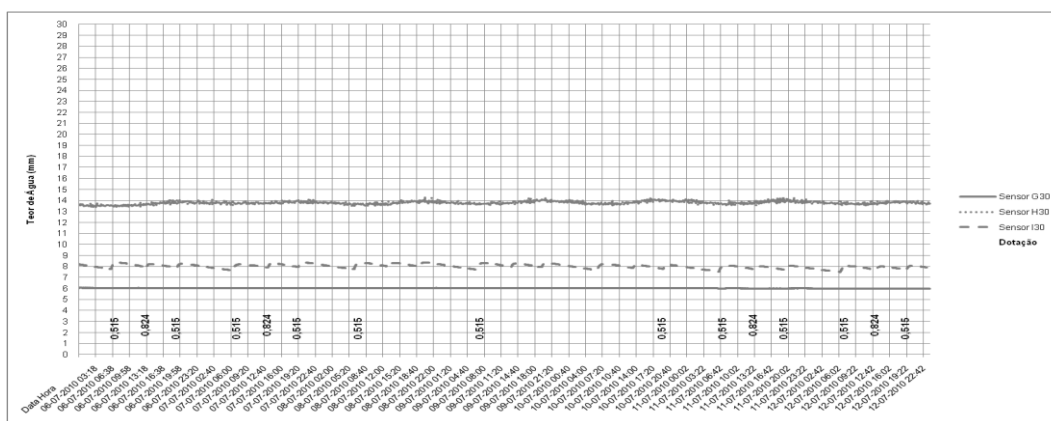
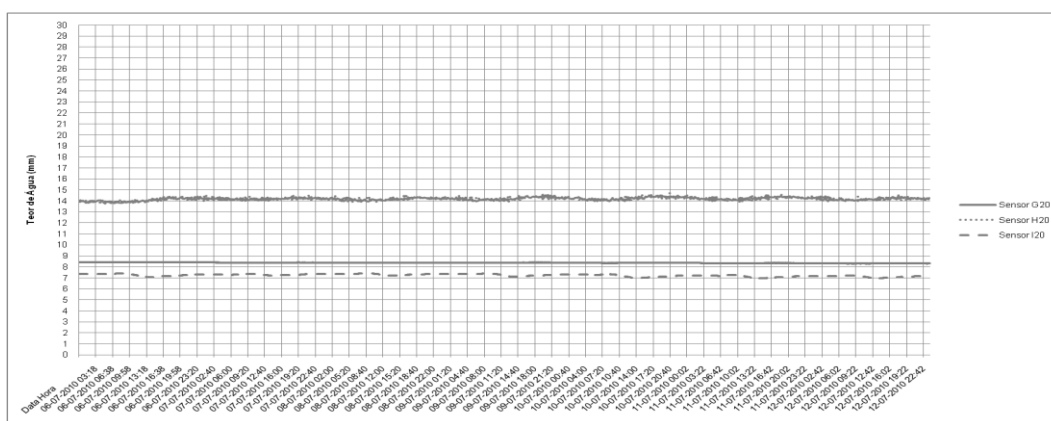
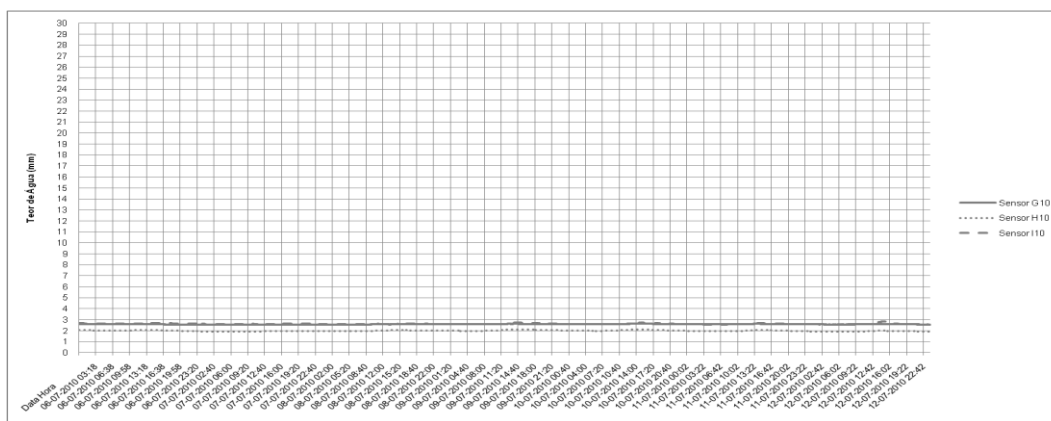
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 30 cm de profundidade para o período de 18 de 24 de Junho de 2010



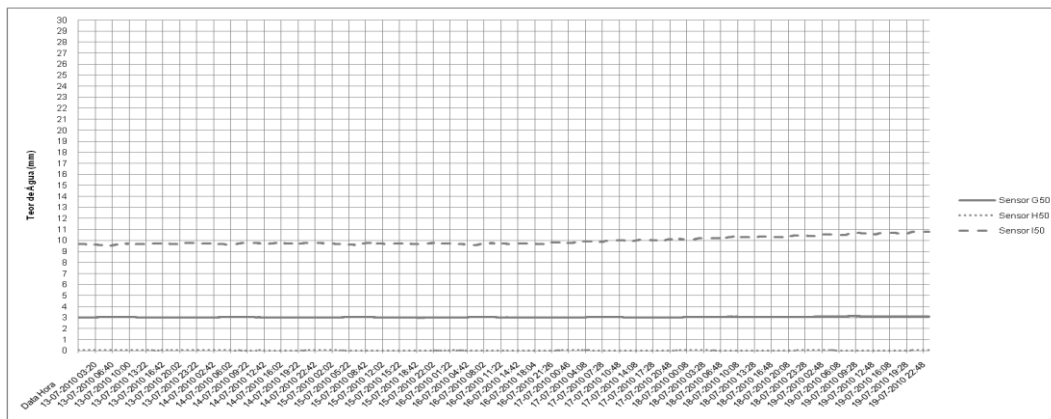
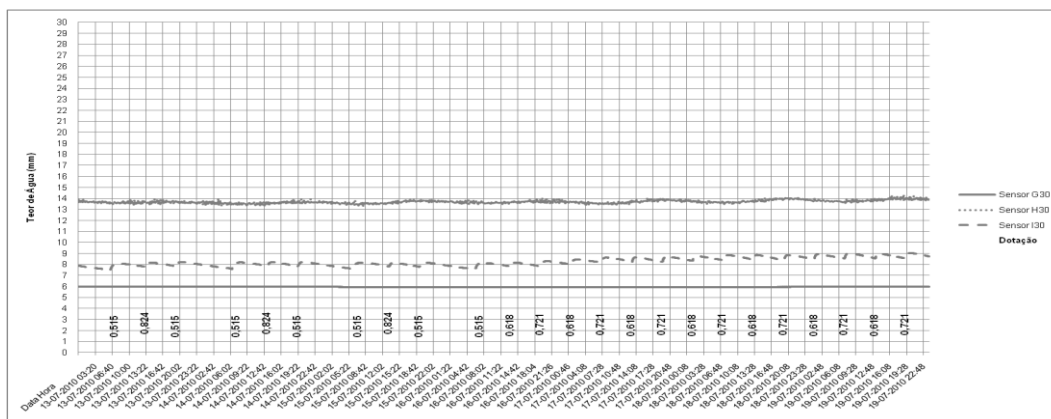
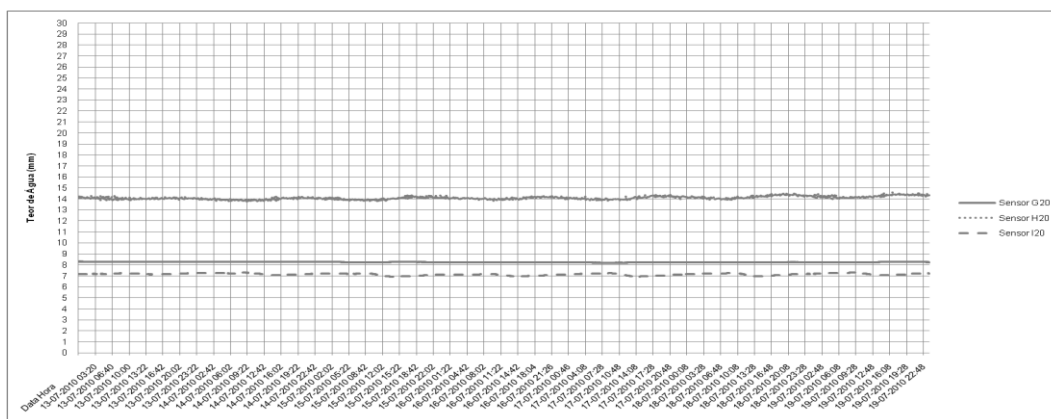
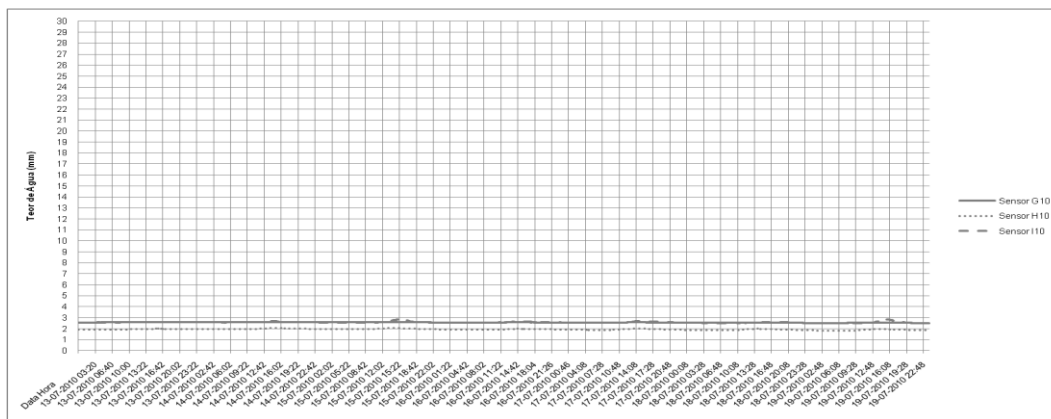
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 30 cm de profundidade para o período de 29 de Junho a 5 de Julho de 2010



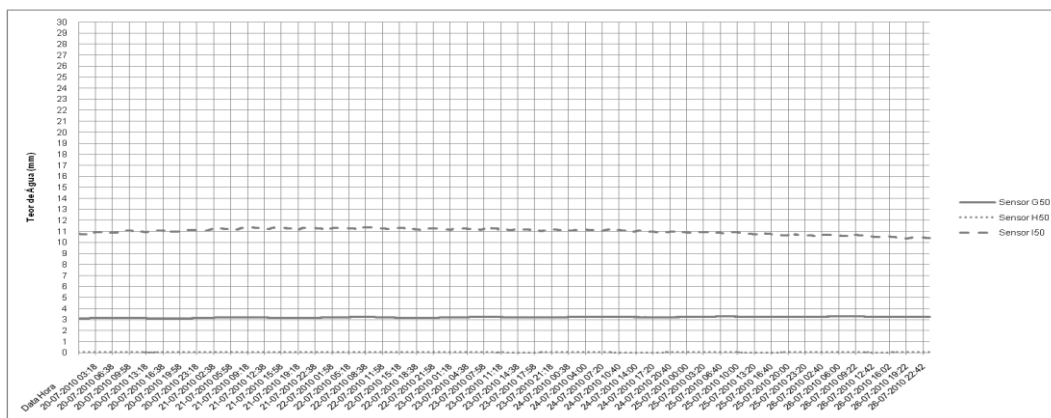
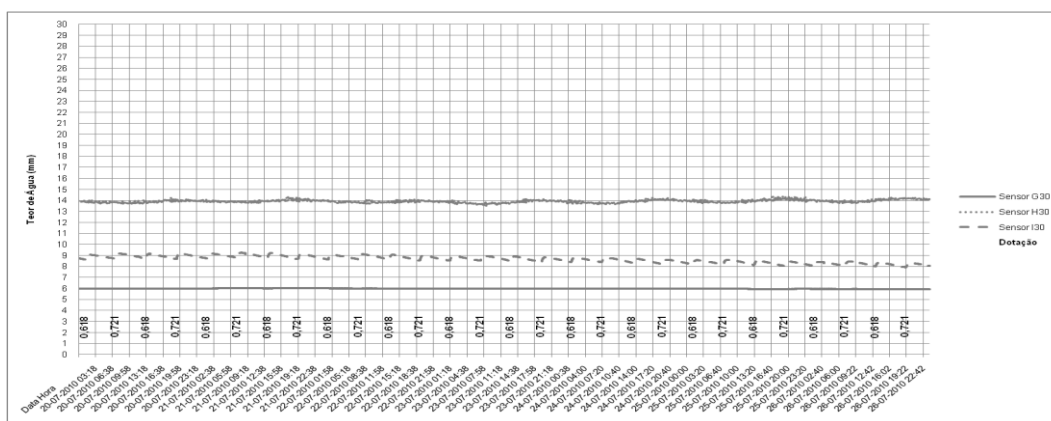
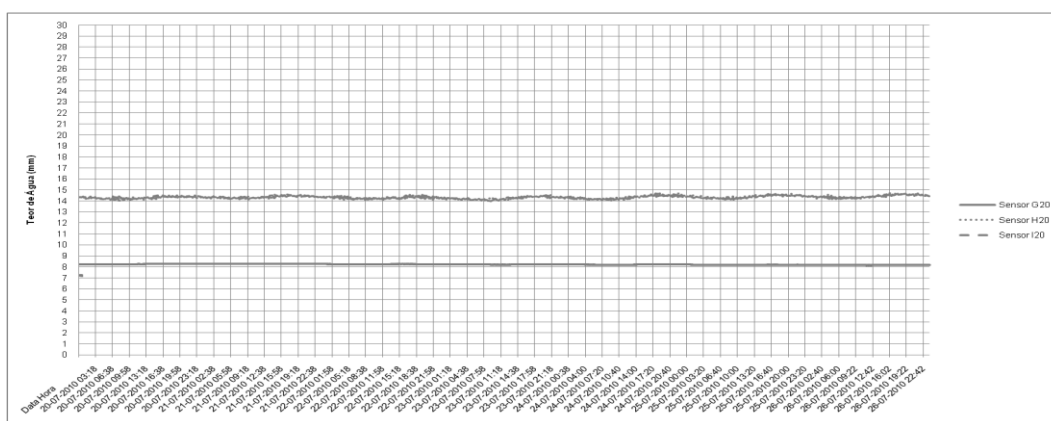
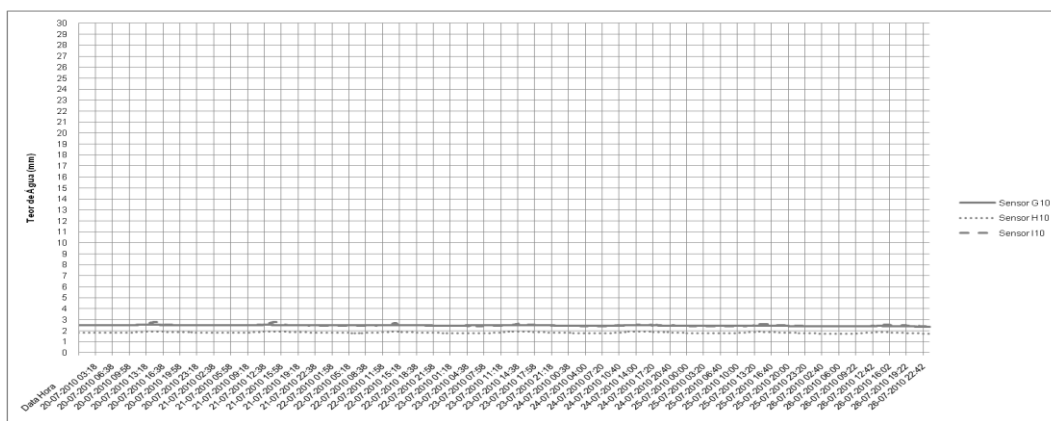
Anexos



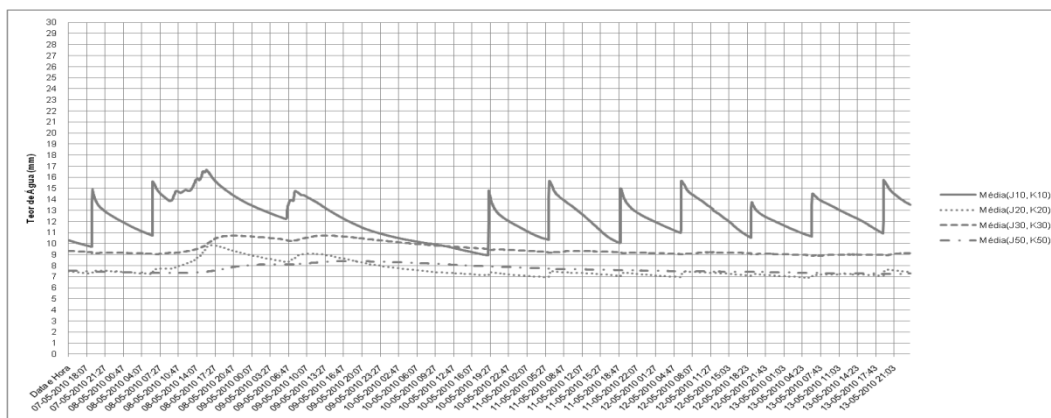
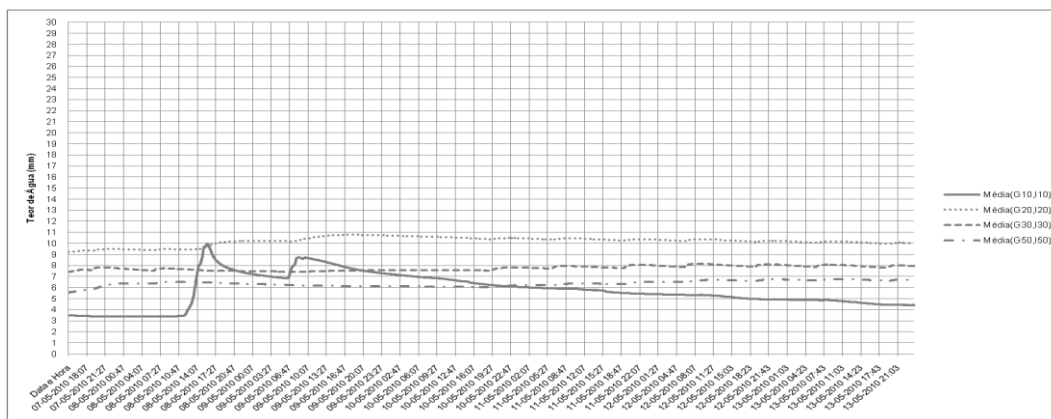
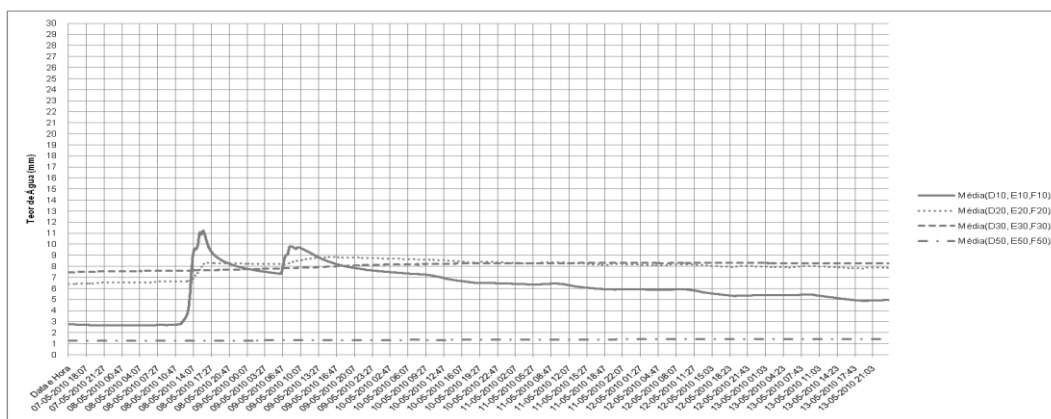
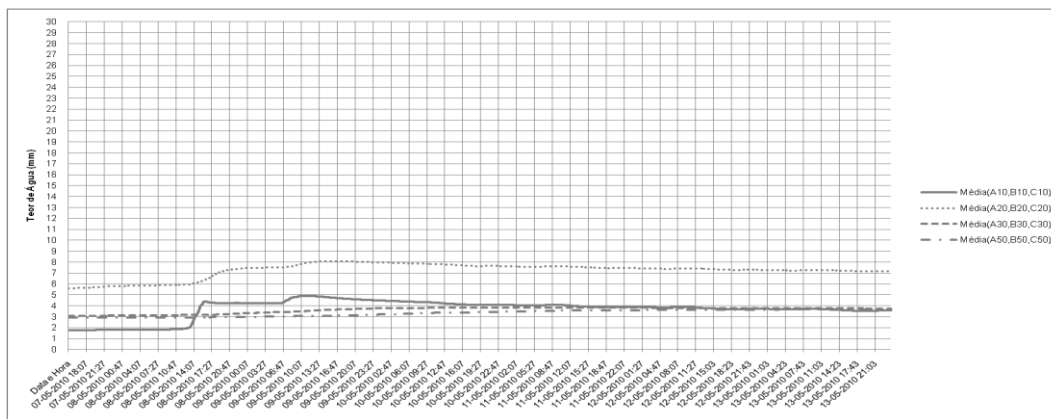
Dados dos sensores relativos ao tratamento linha pareada instalada a 30 cm de profundidade para o período de 13 a 19 de Julho de 2010



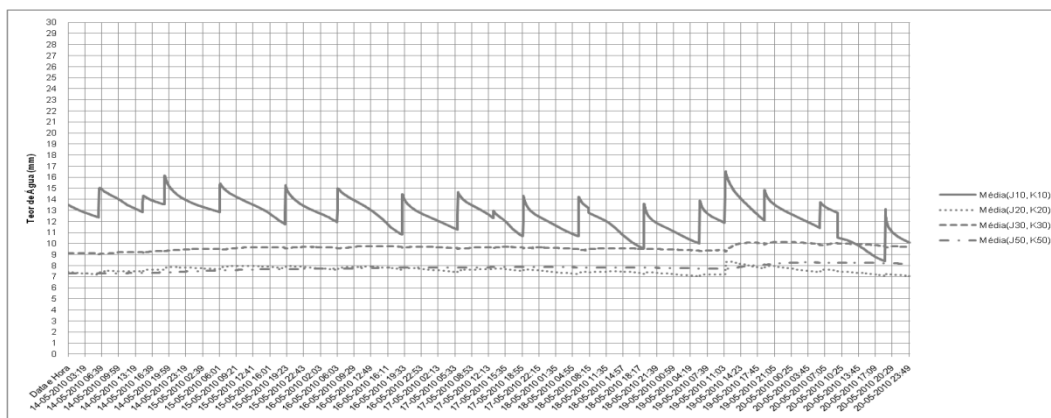
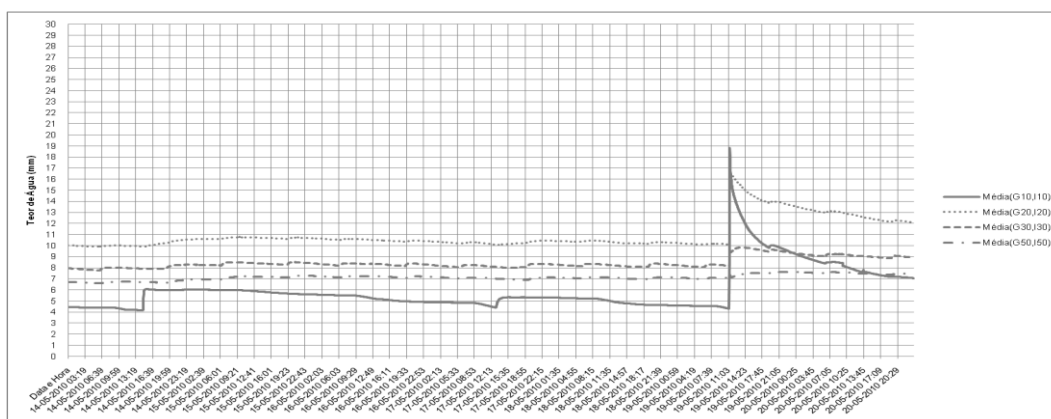
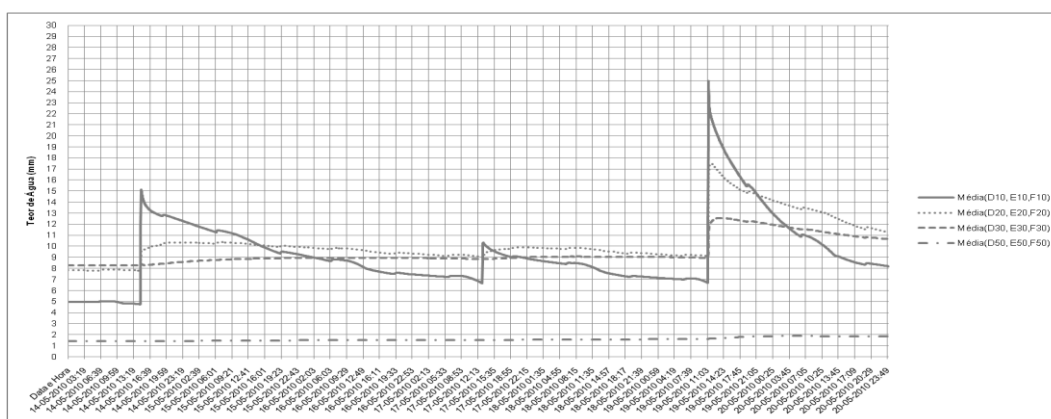
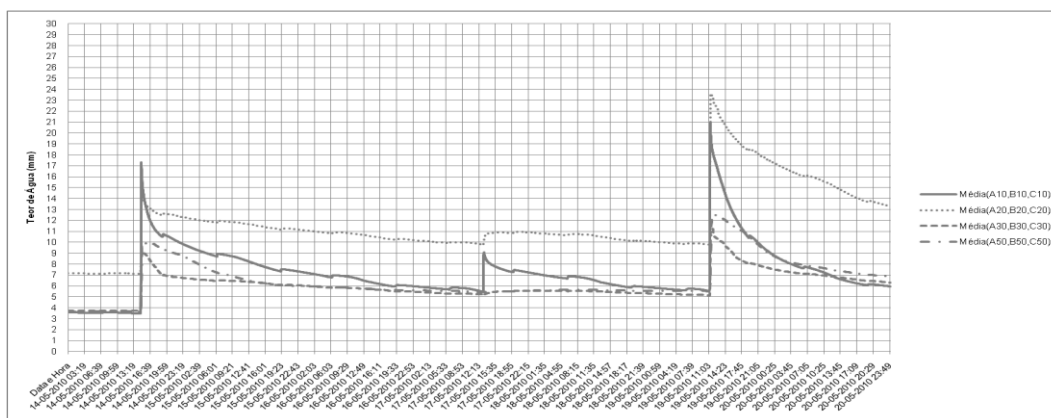
Anexos



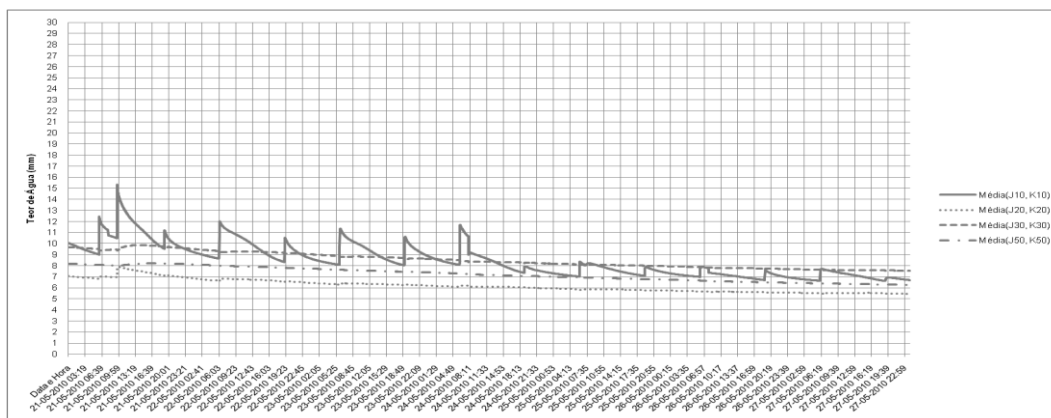
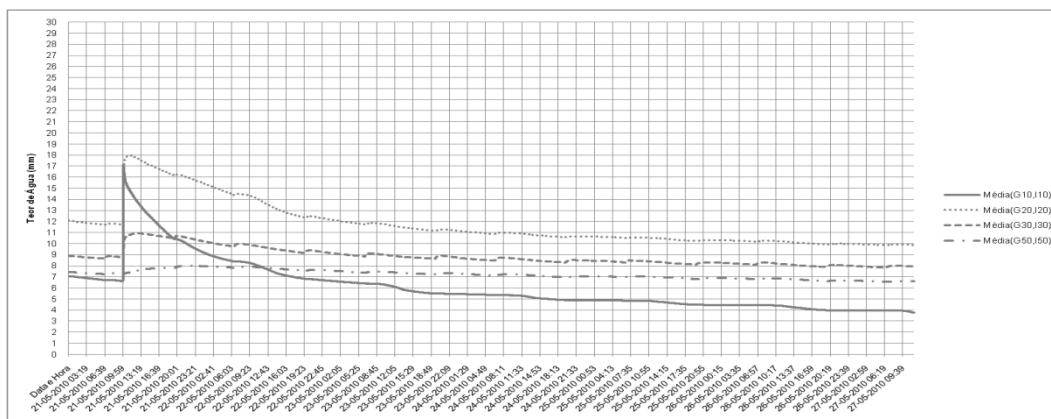
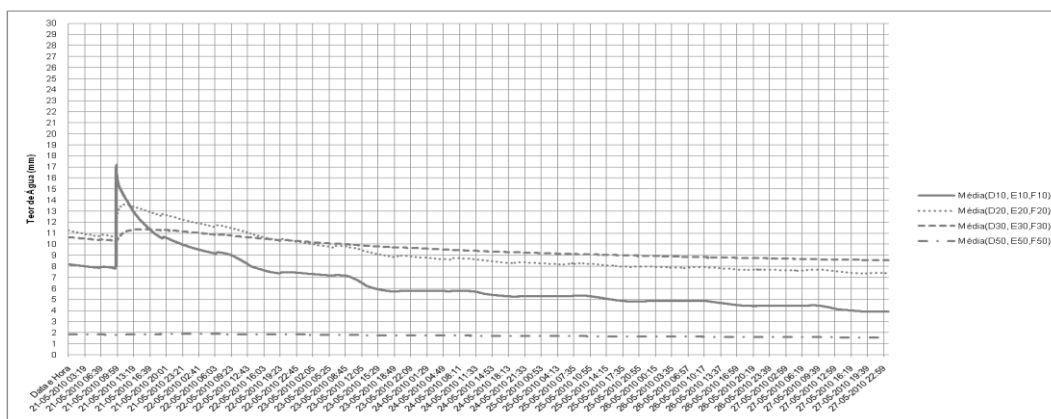
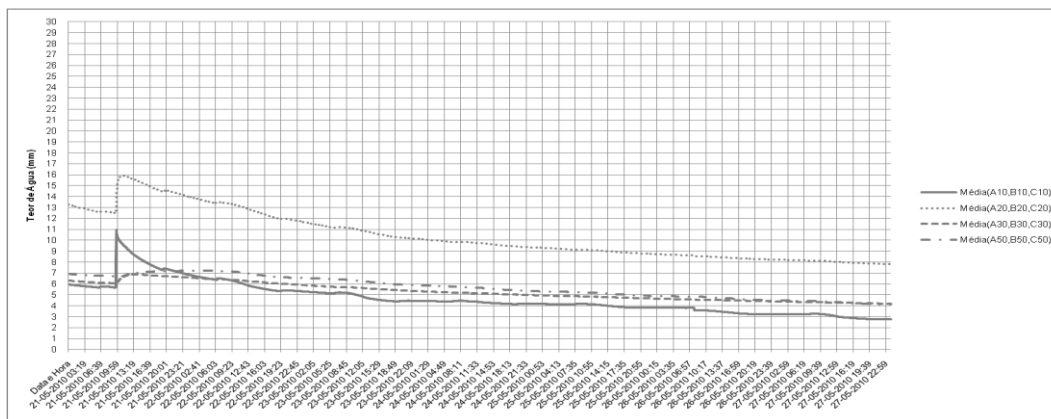
Dados dos médios dos sensores (no mesmo tratamento) no período de 7 a 13 de Maio de 2010



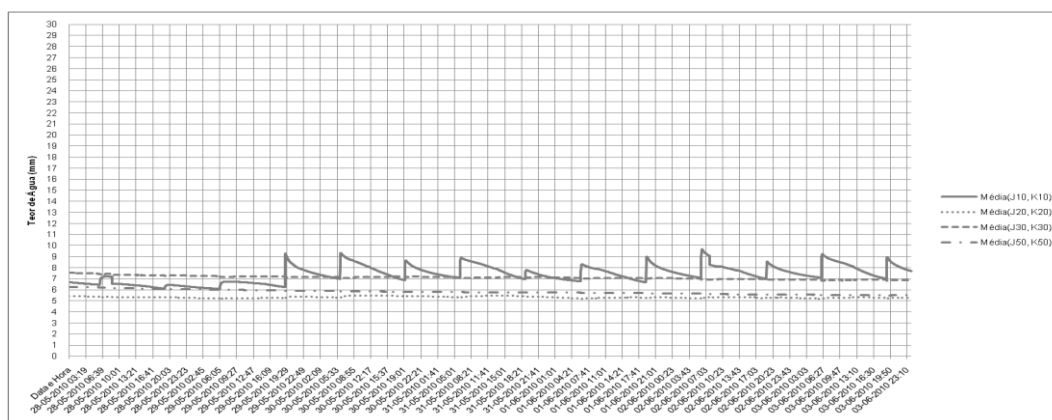
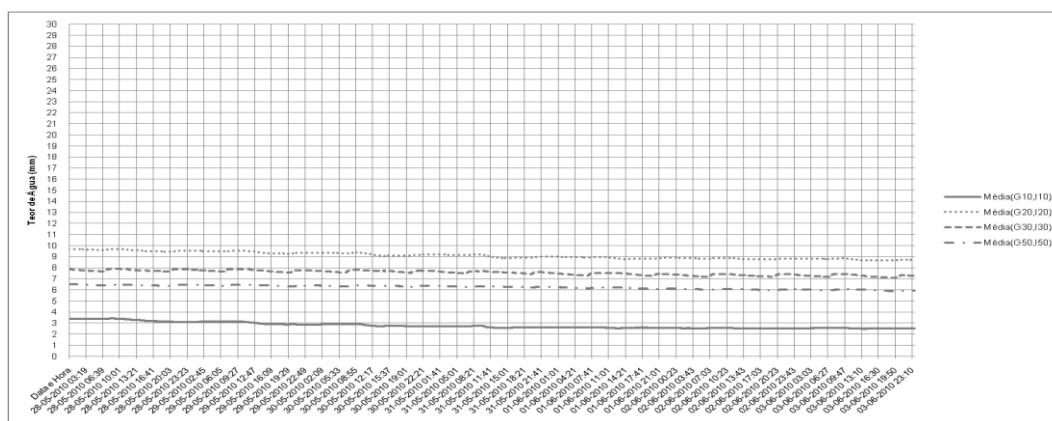
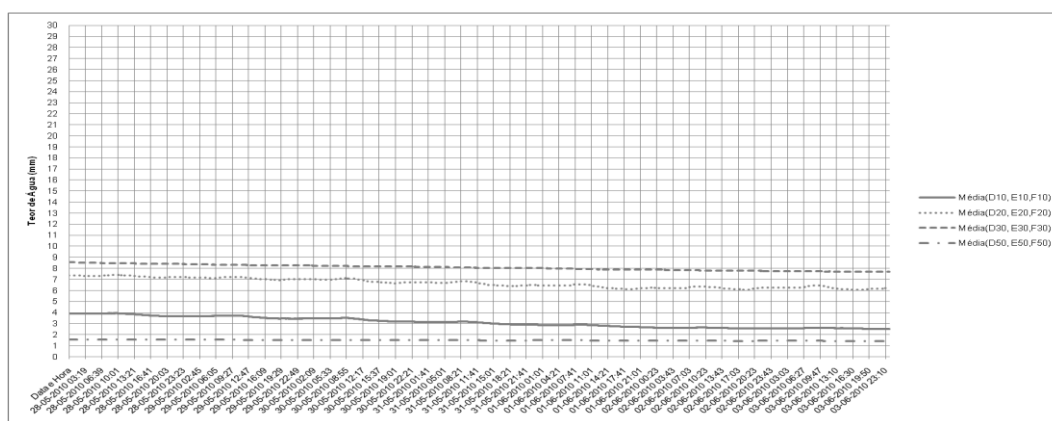
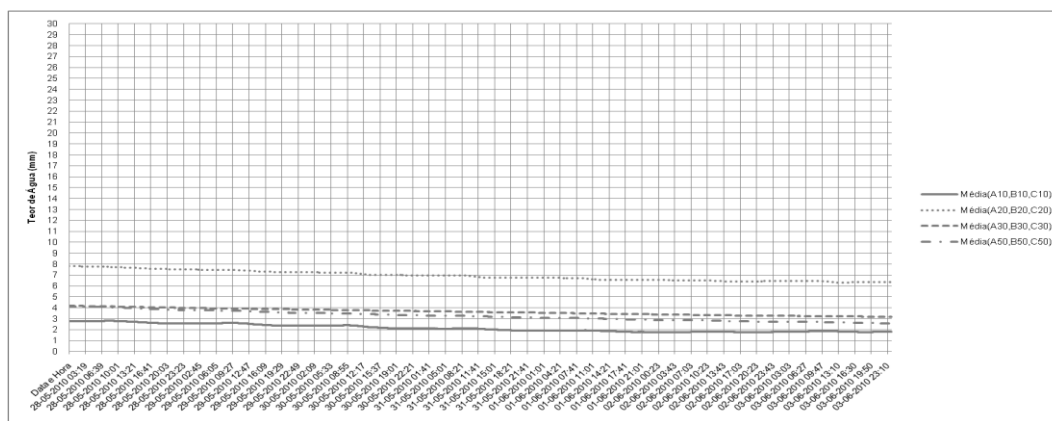
Dados dos médios dos sensores (no mesmo tratamento) no período de 14 a 20 de Maio de 2010



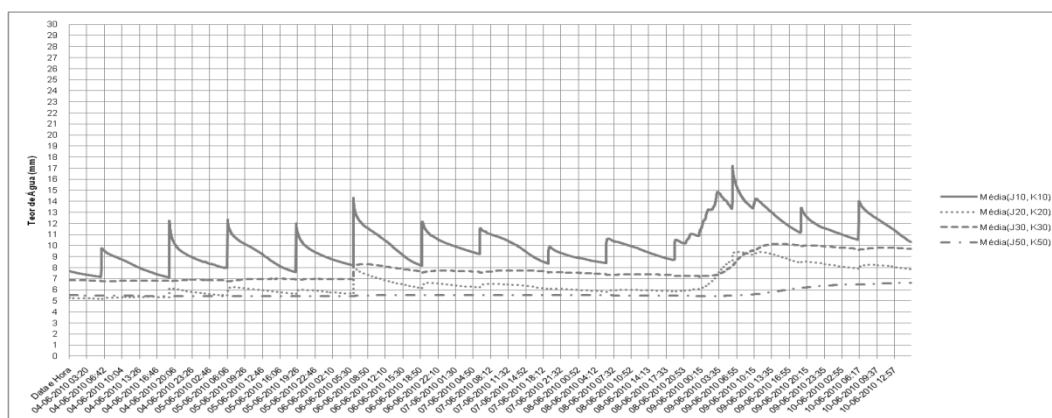
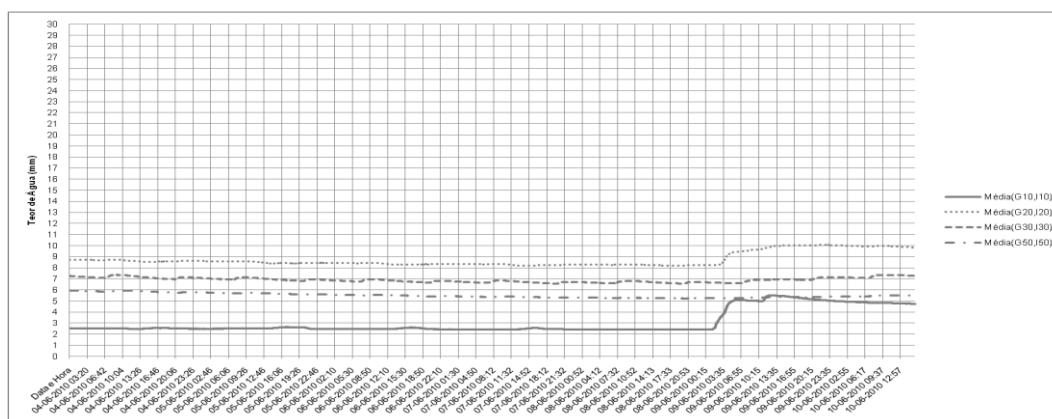
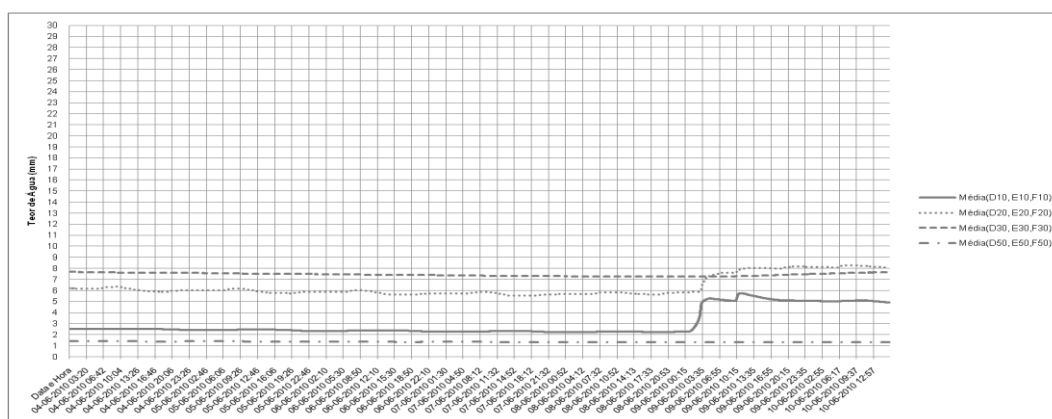
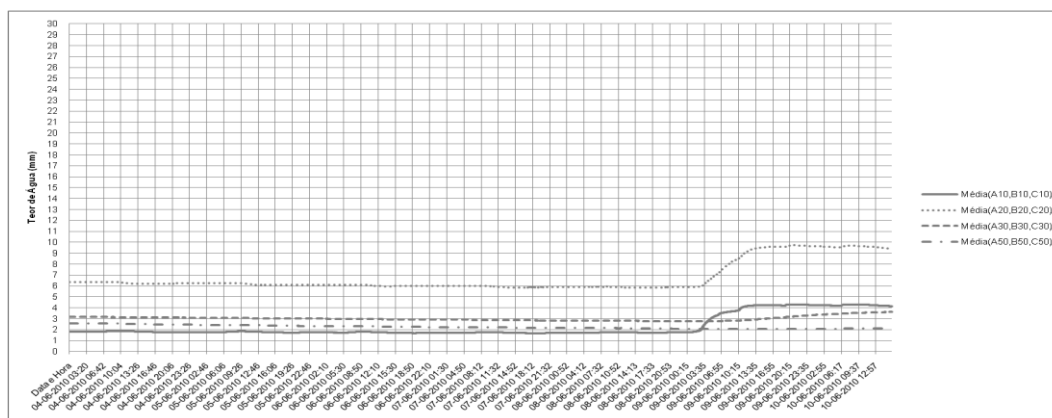
Dados dos médios dos sensores (no mesmo tratamento) no período de 21 a 27 de Maio de 2010



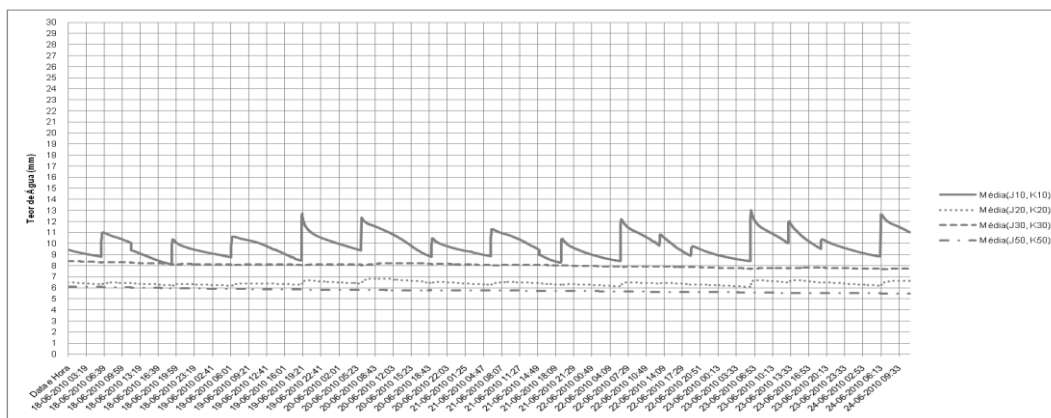
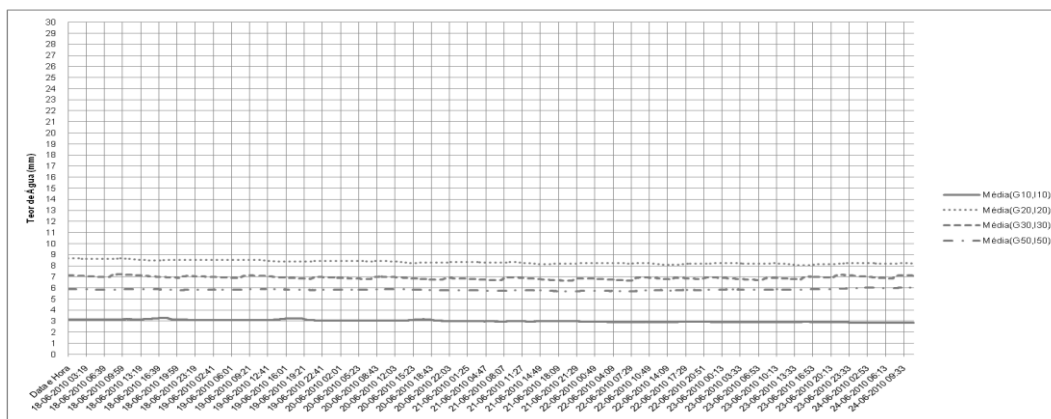
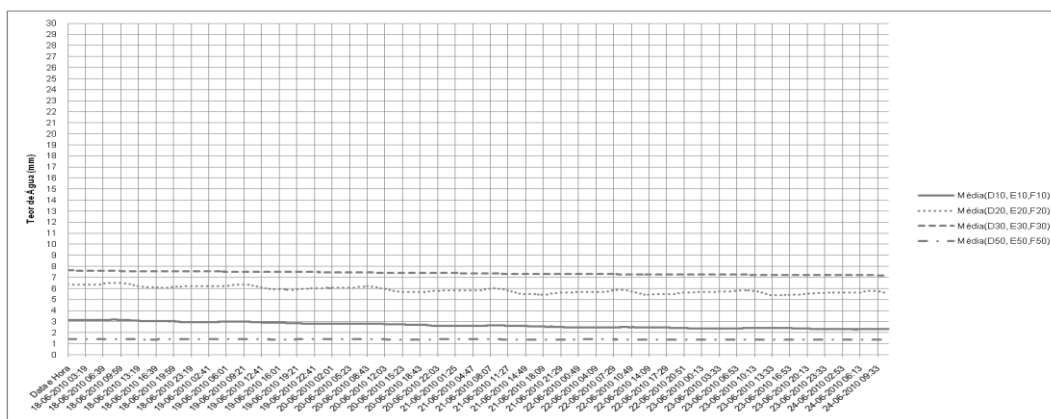
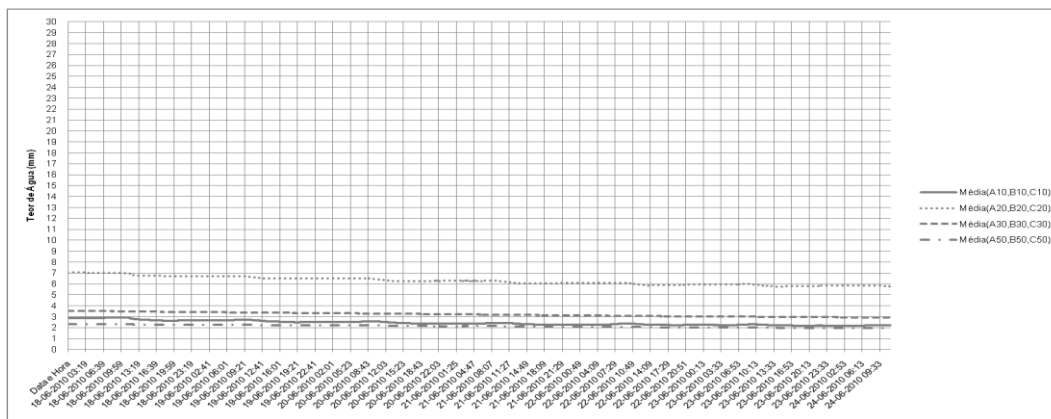
Dados dos médios dos sensores (no mesmo tratamento) no período de 28 de Maio a 3 de Junho de 2010



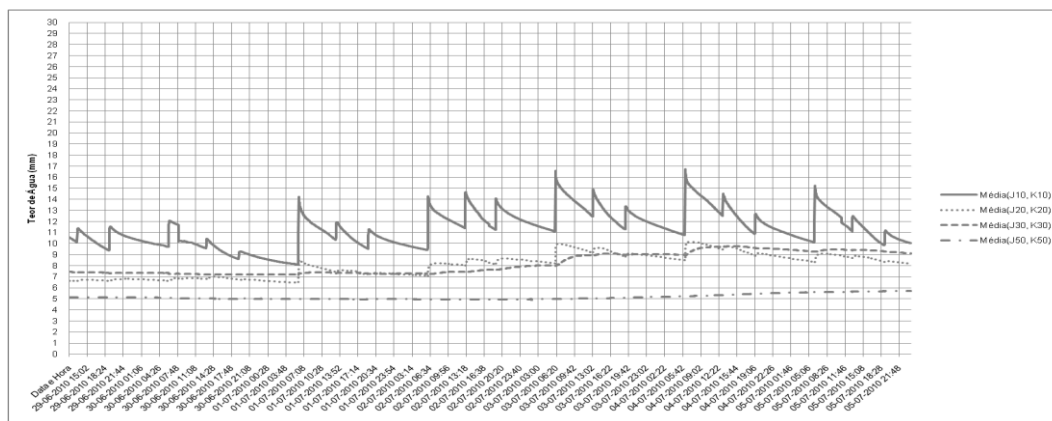
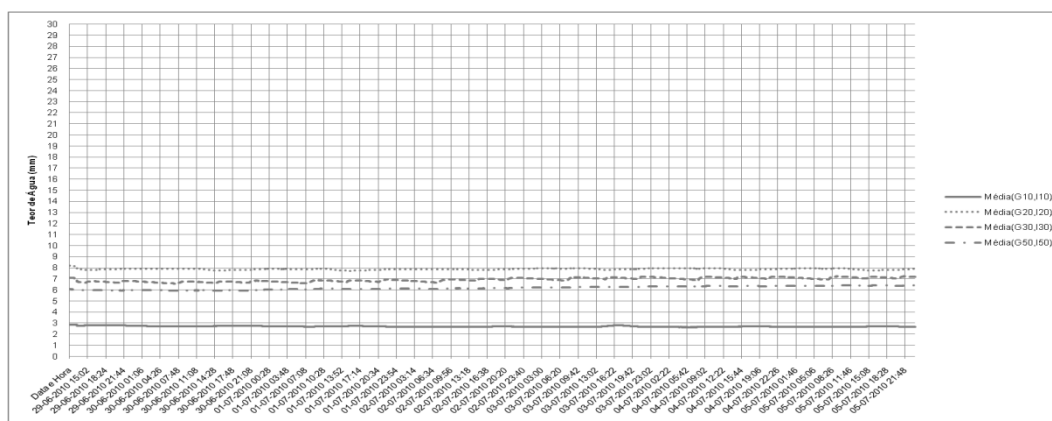
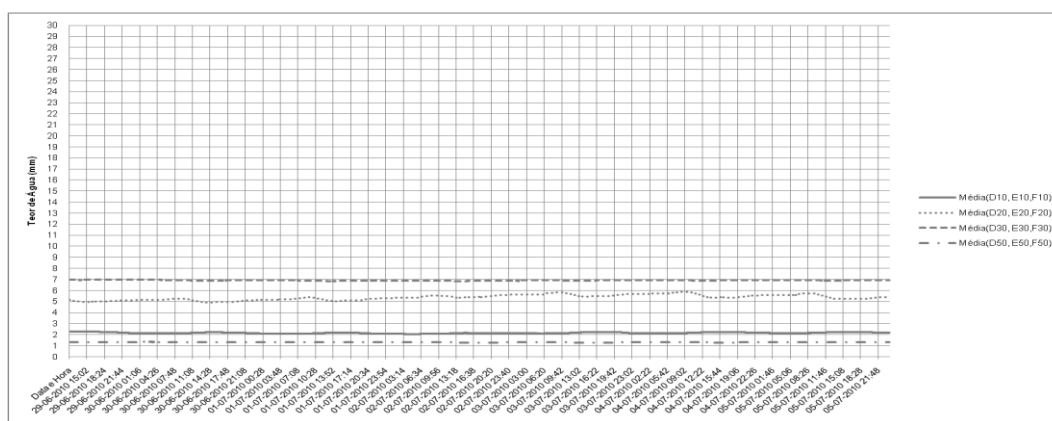
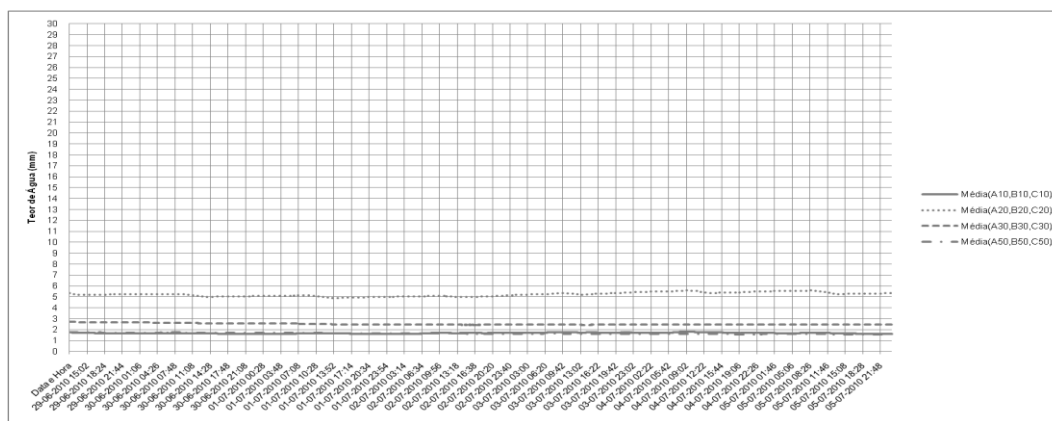
Dados dos médios dos sensores (no mesmo tratamento) no período de 4 a 10 de Junho de 2010



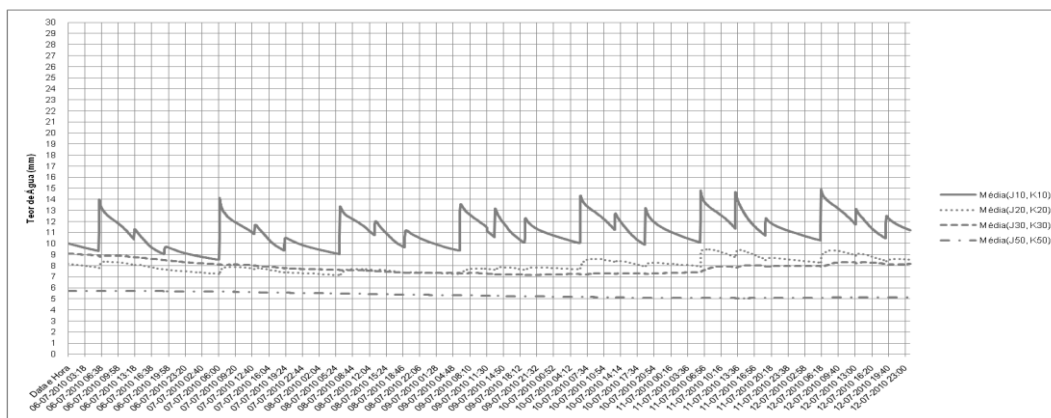
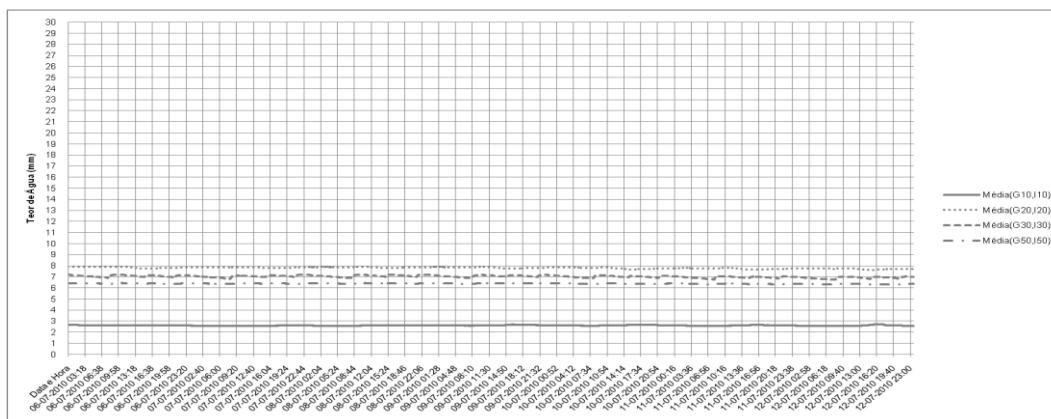
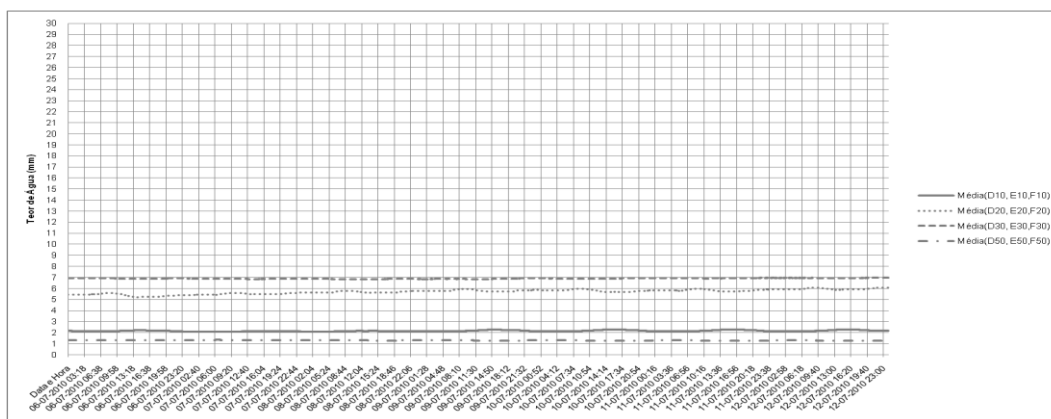
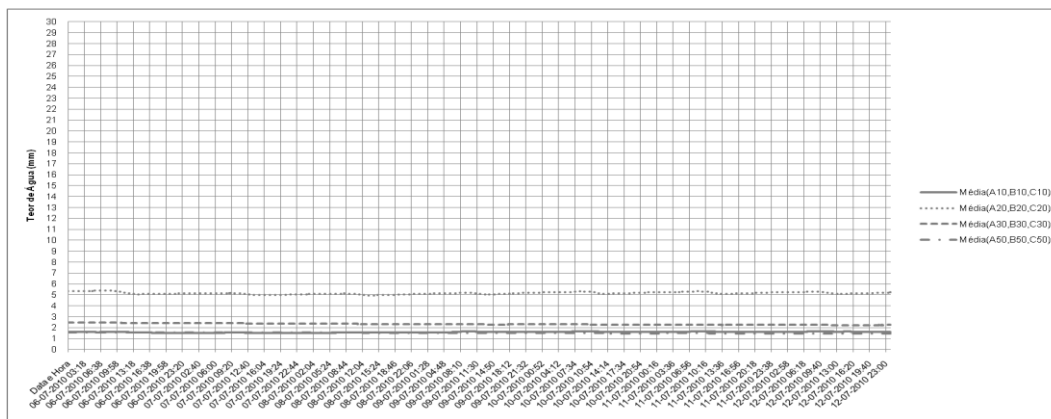
Dados dos médios dos sensores (no mesmo tratamento) no período de 18 a 24 de Junho de 2010



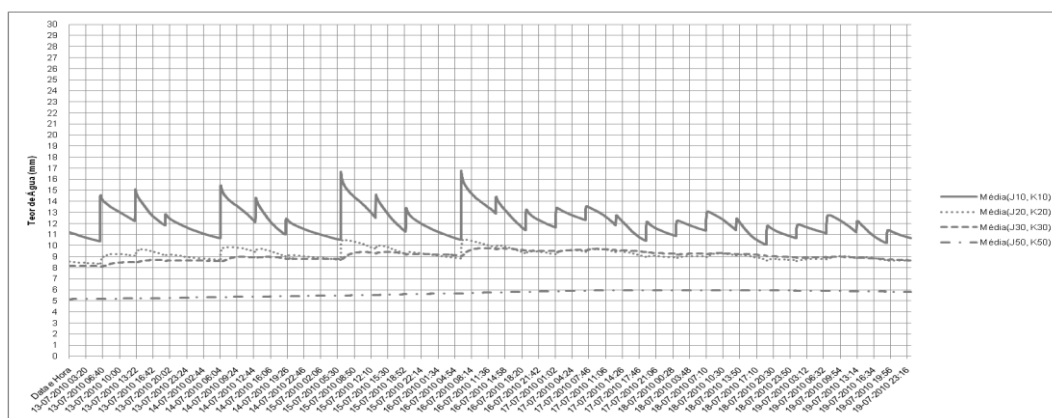
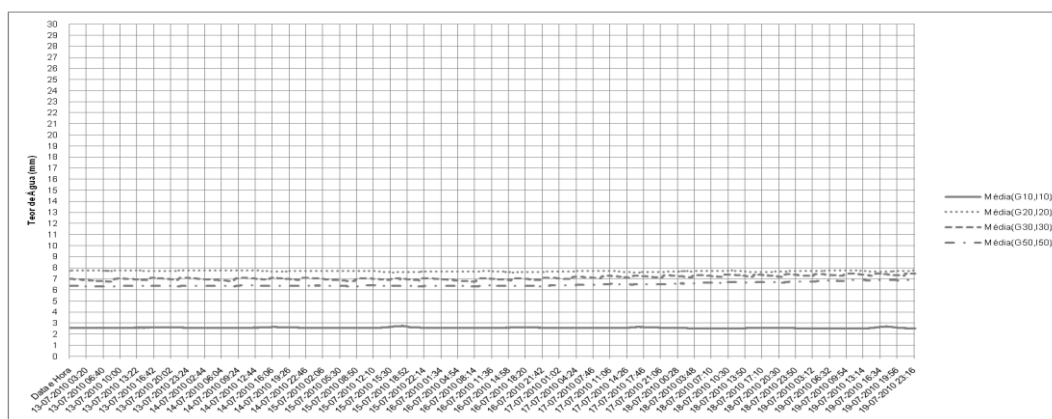
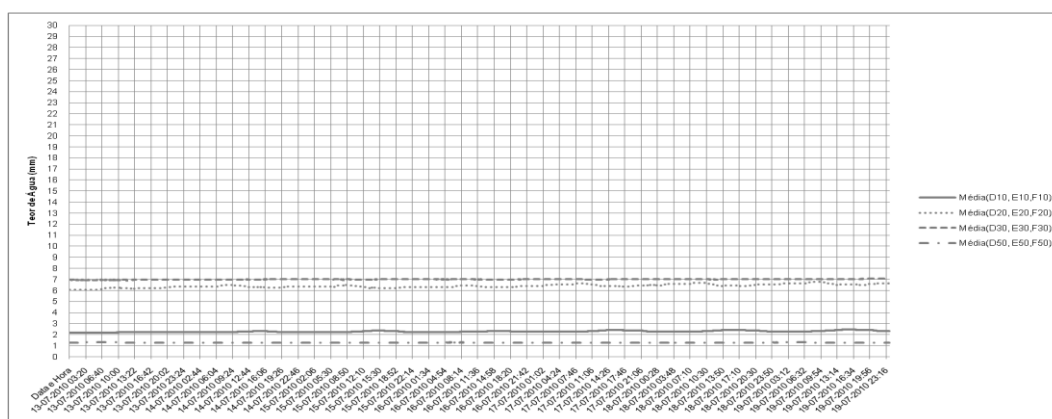
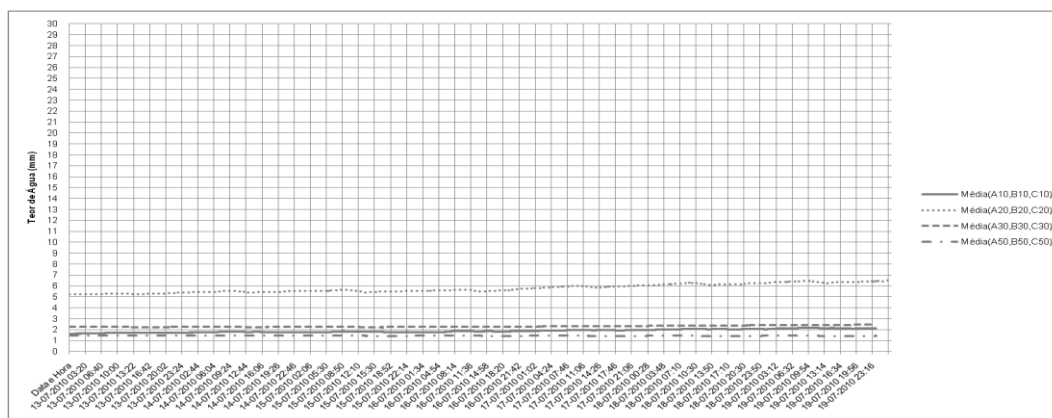
Dados dos médios dos sensores (no mesmo tratamento) no período de 29 de Junho a 5 de Julho de 2010



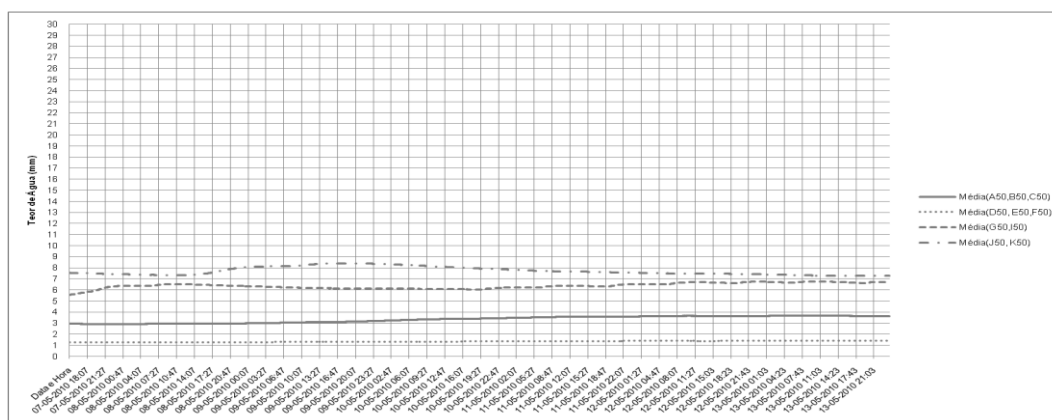
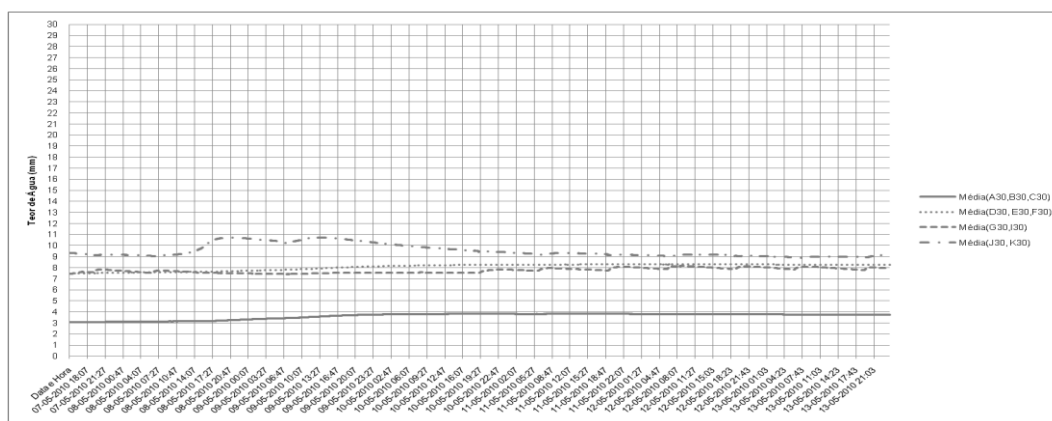
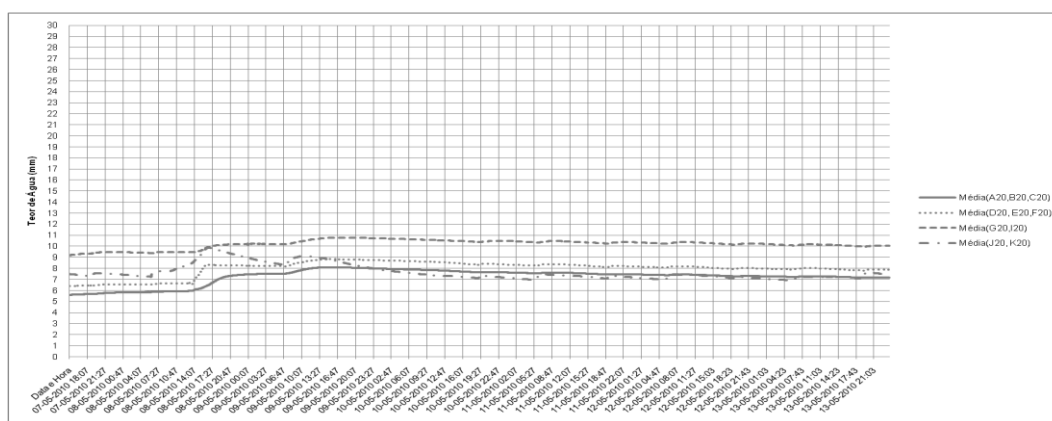
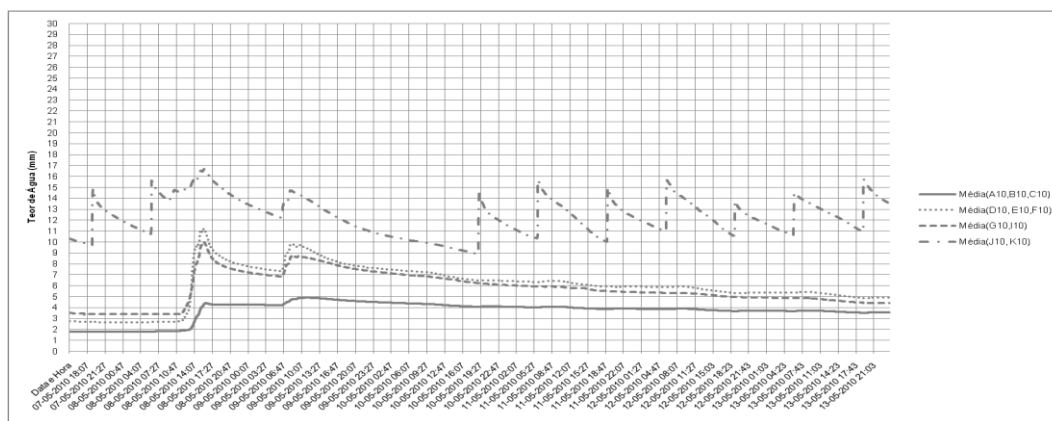
Dados dos médios dos sensores (no mesmo tratamento) no período de 6 a 12 de Julho de 2010



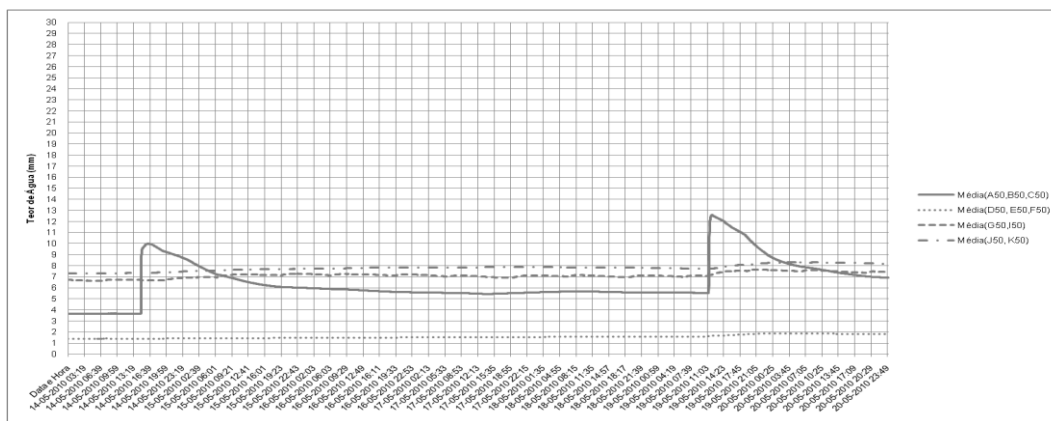
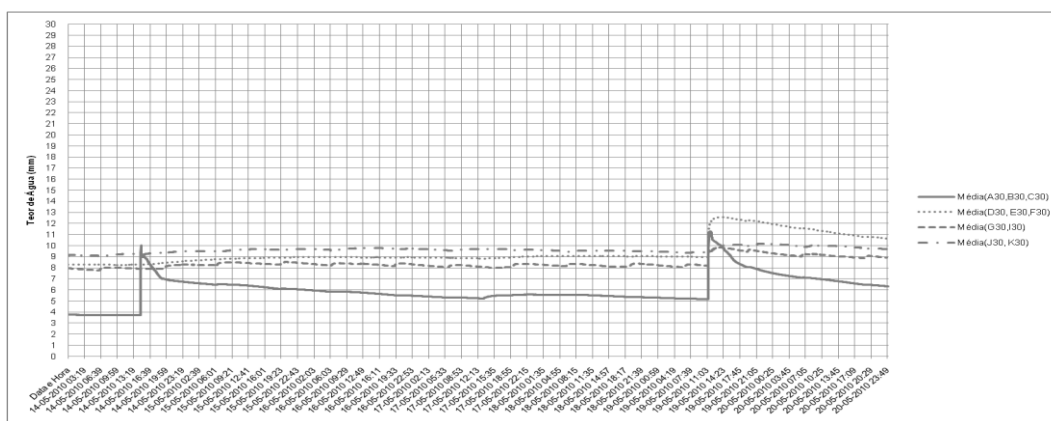
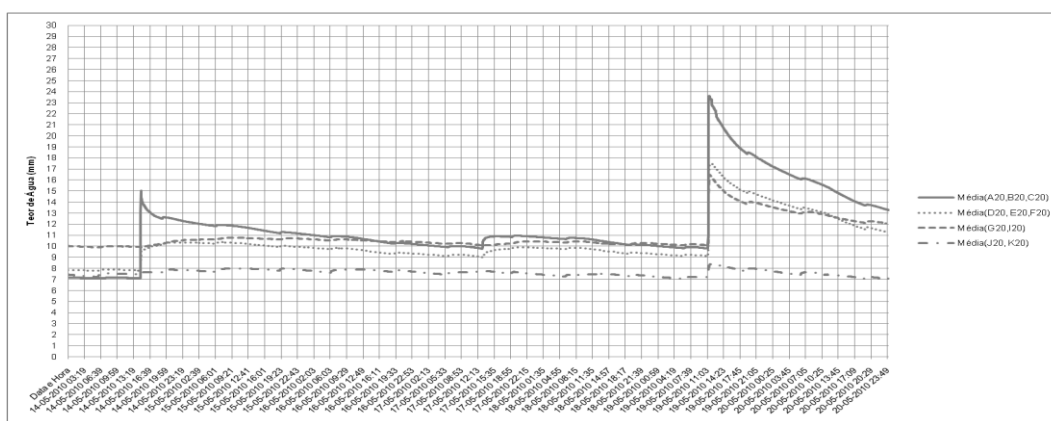
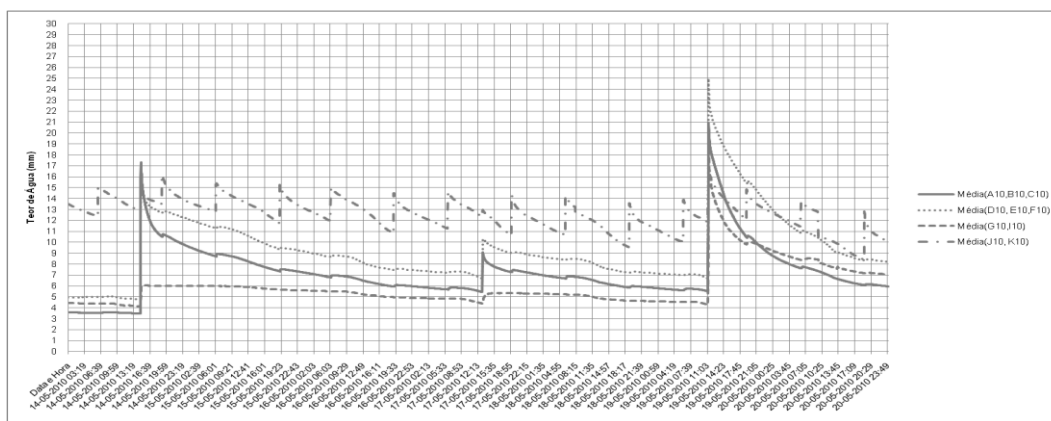
Dados dos médios dos sensores (no mesmo tratamento) no período de 13 a 19 de Julho de 2010

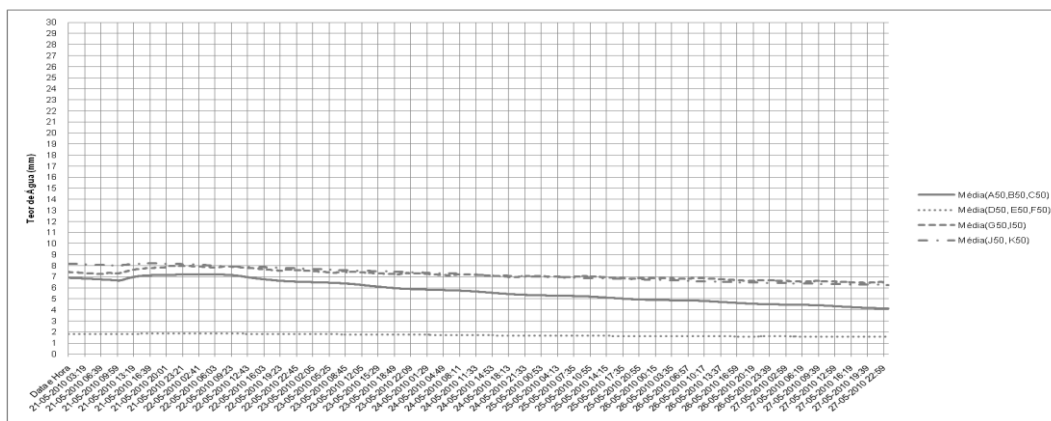
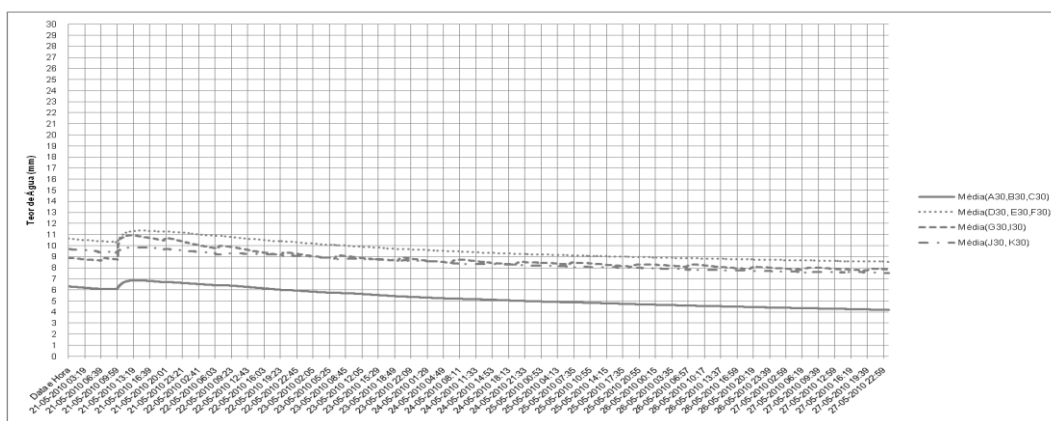
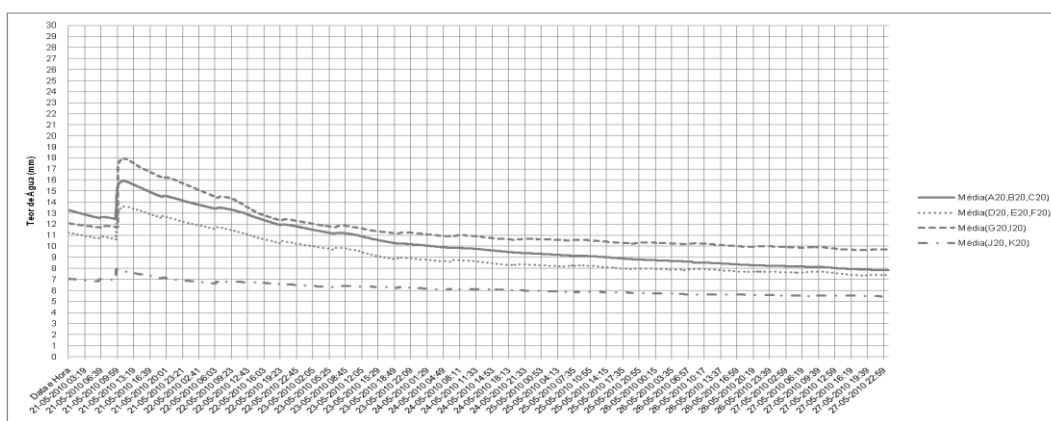
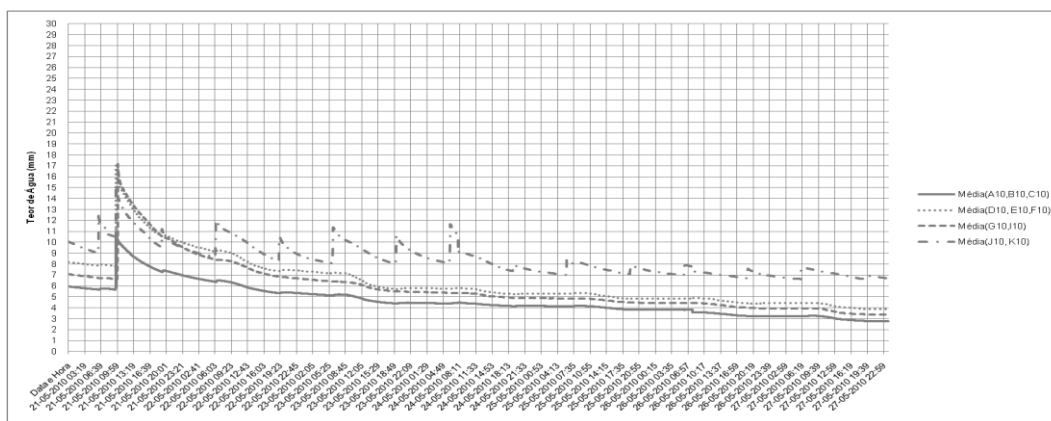


Dados dos médios dos sensores à mesma profundidade de tratamentos diferentes no período de 7 a 13 de Maio de 2010

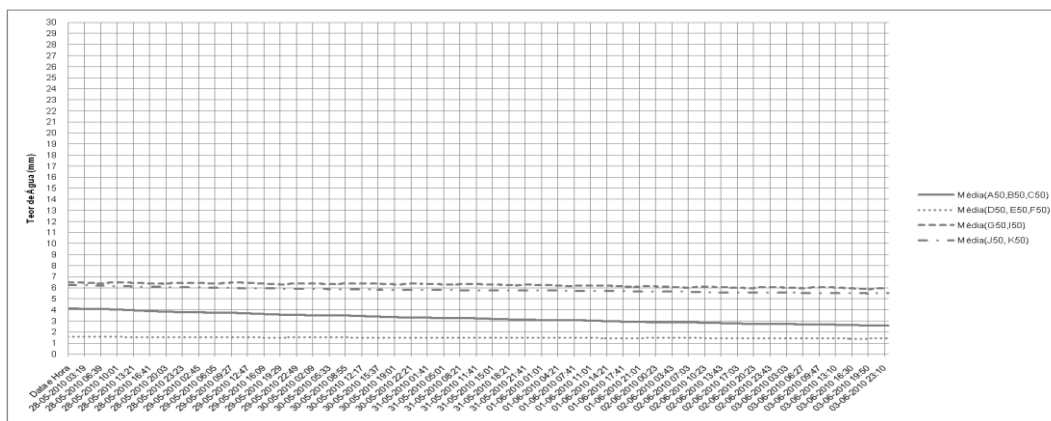
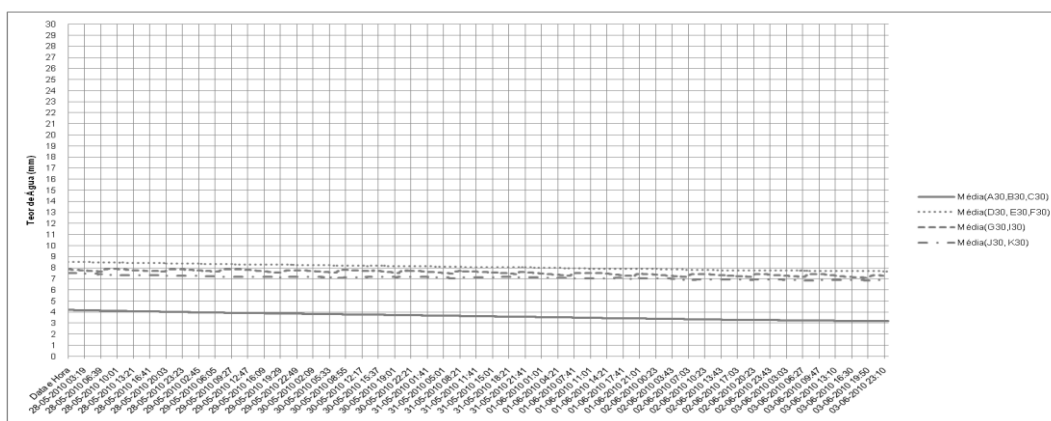
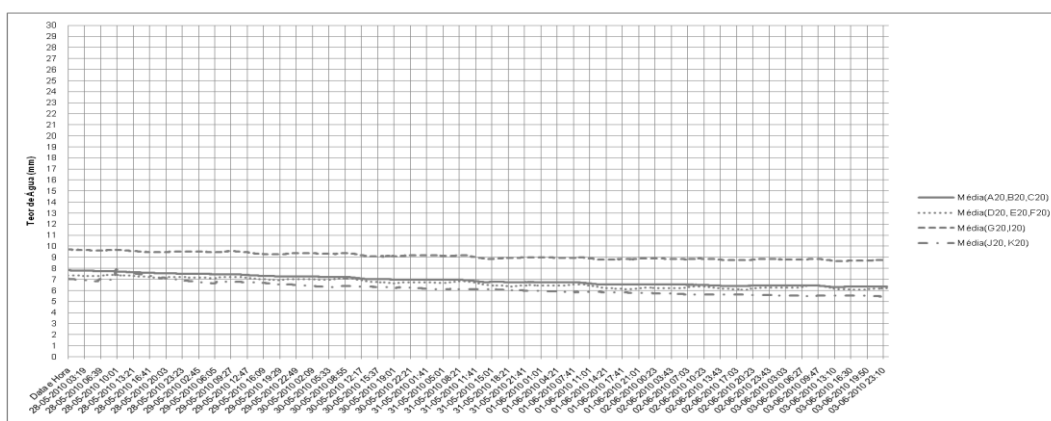
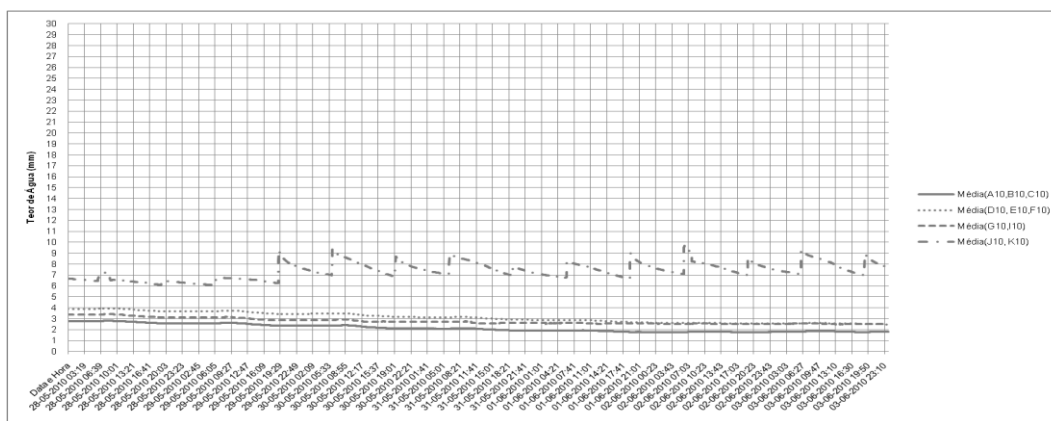


Dados dos médios dos sensores à mesma profundidade de tratamentos diferentes no período de 14 a 20 de Maio de 2010

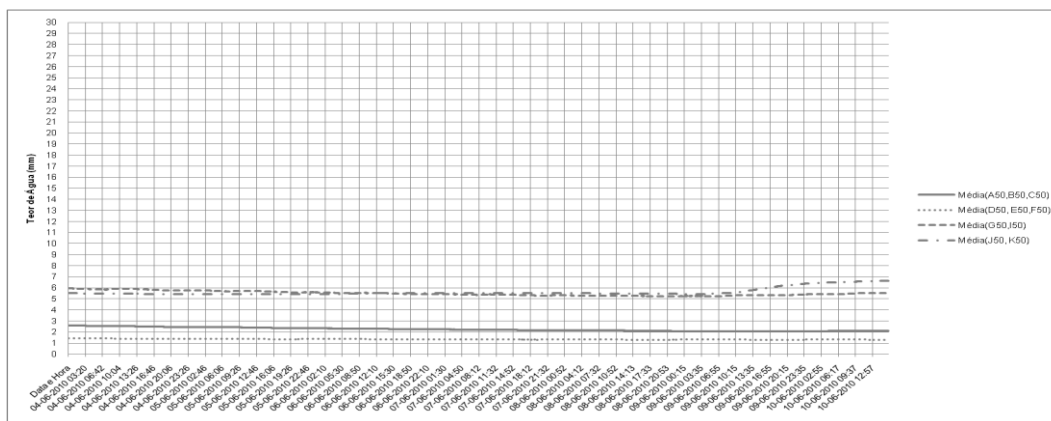
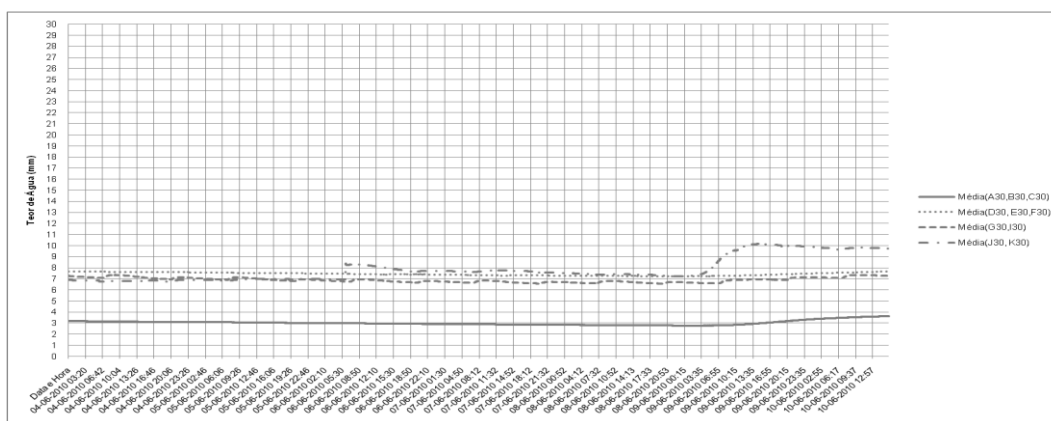
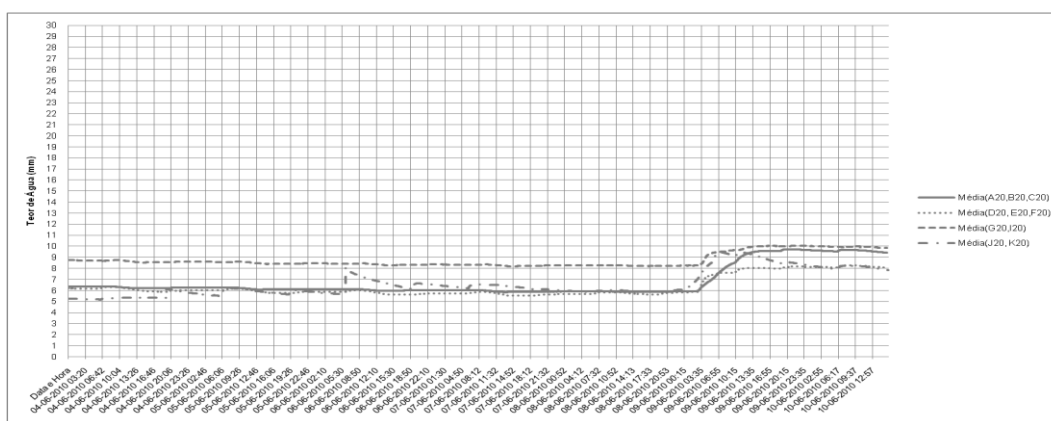
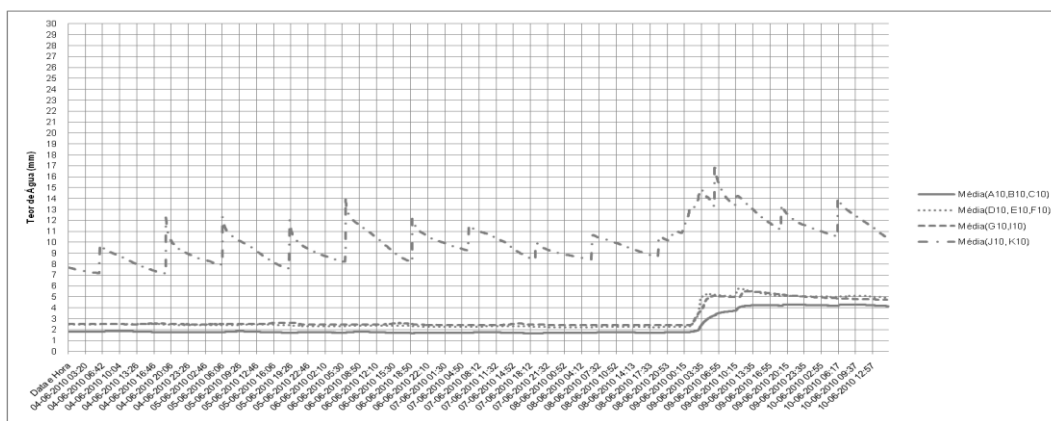




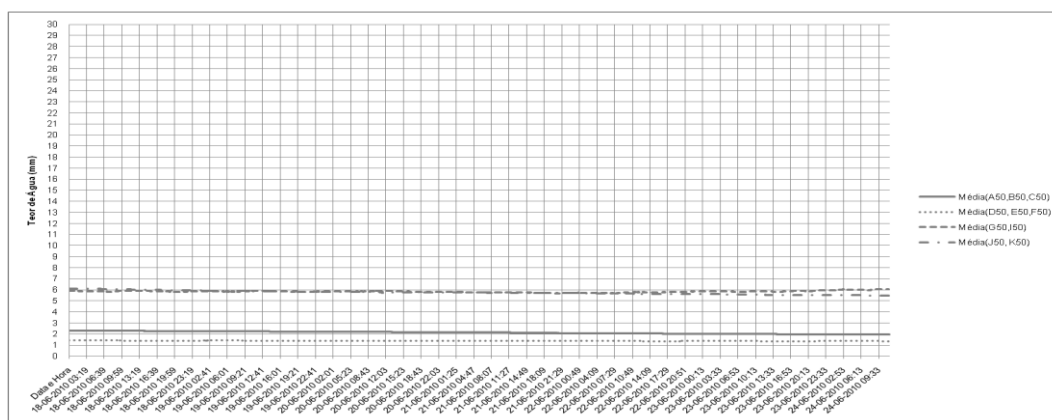
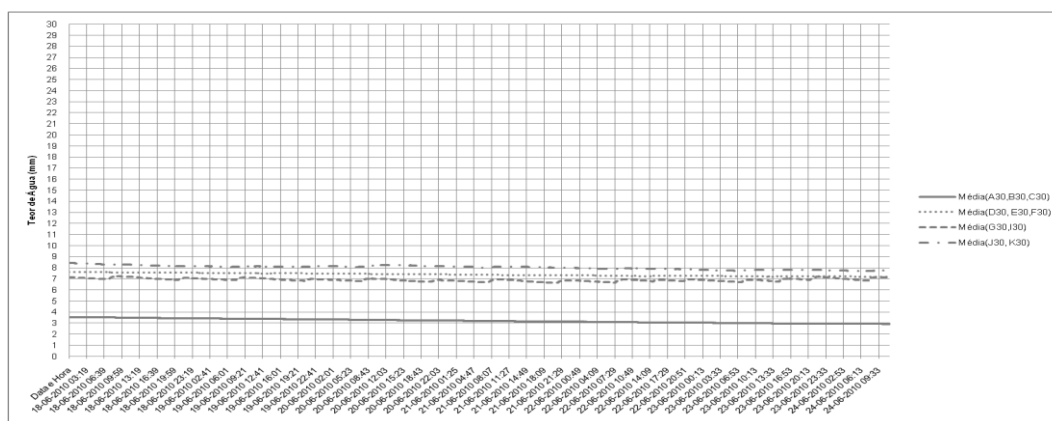
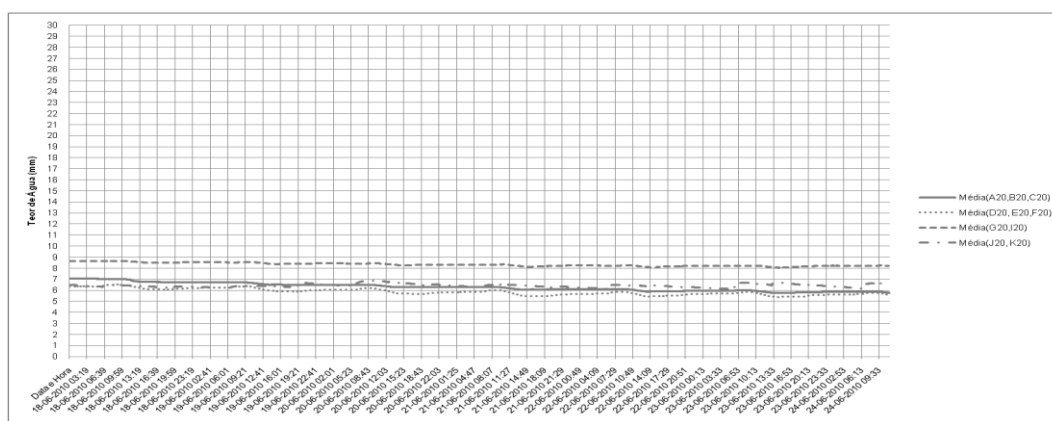
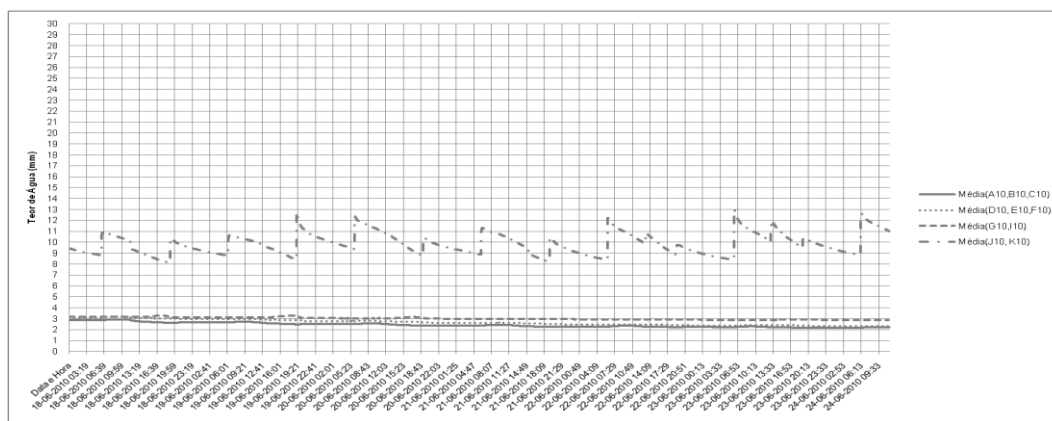
Anexos



Dados dos médios dos sensores à mesma profundidade de tratamentos diferentes no período de 4 a 10 de Junho de 2010



Dados dos médios dos sensores à mesma profundidade de tratamentos diferentes no período de 18 a 24 de Junho de 2010



Anexos

